

INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBOLOUX

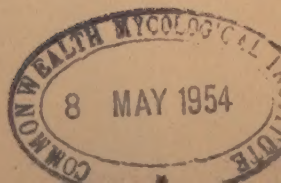
Tome XXI, N^{os} 3-4.

1953

BULLETIN
DE
L'INSTITUT AGRONOMIQUE
ET DES
STATIONS DE RECHERCHES
DE
GEMBOLOUX



IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
BRUXELLES



Sommaire

BERNARD, J. — Etude sur les Nématodes phytophages. IV. Quelques dégâts nouveaux ou peu connus en Belgique	3
HUYGENS, R. et CASIMIR, J. — Séparation chromatographique sur papier du saccharose, du glucose, du fructose et du sorbitol	8
LECOMTE, R. et SEILLEUR, P. — Extraction des Carotènes en vue de leur détermination	14
LECRENIER, A., DERMINE, E. et TRZINSKI, T. — Contribution à l'étude de la nutrition du Pommier par un essai en vases de végétation	26
MANIL, G., COLLIN, E., EVRARD, R. et GRUBER, R. — Les sols forestiers de l'Ardenne. Le plateau de Saint-Hubert-Nassogne (Première étude) . .	42
Etude biométrique, par MARTIN, L.	69
MARTENS, Pierre H. — Influence de l'augmentation linéaire de la température sur les variations de masse des oxalates alcalins	131
SINE, L. — Note sur le calcul des pertes de charge dans les conduites à arroseurs multiples (irrigation par aspersion)	137
TEGHEM, J. — Sur la régression polynomiale. De quelques polynômes orthogonaux	160
TURBANG, J. — Au sujet d'un nouveau représentant du genre « <i>Capreolus</i> » en Belgique : le Chevreuil de Sibérie (<i>Capreolus pigargus</i> Pall)	171
Bibliographie	176
Livres reçus	178

Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leurs auteurs.

Le *Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux* paraît normalement quatre fois par an. Toutefois, provisoirement, le nombre des livraisons a dû être limité.

Le prix de l'abonnement est de 175 francs par an, somme à verser au compte de chèques postaux n° 7621.08 du Bulletin de l'Institut Agronomique de Gembloux (Belgique) ou à payer par mandat postal.

Prix du présent volume : 90 francs. Pour la commande, prière de s'adresser au Secrétariat du *Bulletin*.

a) Le *Bulletin* sera envoyé en échange des publications similaires des Etablissements d'Enseignement Supérieur, des publications périodiques des Sociétés scientifiques et des Revues Scientifiques en général.

b) Tout ouvrage scientifique dont un exemplaire est adressé à la Rédaction, sera signalé sous la rubrique « Bibliographie ».

Toute reproduction des articles parus dans le *Bulletin* est strictement interdite, sauf autorisation du Comité de Rédaction.

INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBOLOUX

Tome XXI, Nos 3-4.

1953

BULLETIN

DE

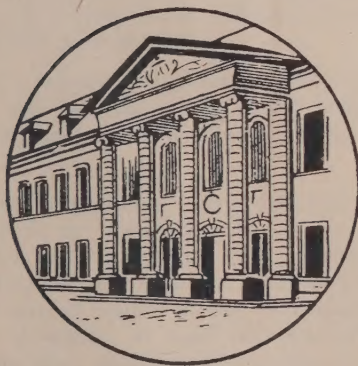
L'INSTITUT AGRONOMIQUE

ET DES

STATIONS DE RECHERCHES

DE

GEMBOLOUX



IMPRIMERIE G. I. C.

61, Av. de la Liberté, 61

BRUXELLES

Etudes sur les Nématodes phytophages

IV. Quelques cas de dégâts nouveaux ou peu communs en Belgique

par

J. BERNARD

1. — *Ditylenchus dipsaci* KÜHN sur Maïs.

En 1950, au cours d'une enquête sur des dégâts de *Ditylenchus dipsaci* sur betteraves fourragères, nous avons découvert à Haacht en terrain sablonneux, des plants de Maïs présentant des symptômes d'attaque par cette espèce de nématode. Les plantes atteintes étaient rares dans le champ et les dégâts peu marqués.

En 1952, on nous a soumis des plants de Maïs provenant de Gentinne, en zone limoneuse, qui présentaient le même facies que ceux découverts précédemment. L'examen a révélé l'existence de nombreux *D. dipsaci* dans leurs tissus.

Les symptômes sont semblables à ceux constatés sur les autres céréales. Ils furent décrits pour la première fois par KOTTHOFF en Allemagne, en 1938. Les plantes sont rabougries et présentent un tallage anormal, le collet est hypertrophié. Des pousses latérales prennent naissance mais restent chétives et serrées contre la tige principale. Les feuilles ne parviennent pas à se dégainer, et sont recroquevillées. Celles qui émergent ne s'étalent pas, mais demeurent enroulées et fripées. Dans certains cas, la feuille se développe tout en restant fixée au collet par la pointe; elle forme donc au-dessus de la plante une sorte d'arceau caractéristique. Les entrenœuds restent courts et épaissis, leur partie centrale nécrosée. L'enracinement est très pauvre, seules quelques racelles se développent. De ce fait les plantes atteintes s'arrachent très facilement. Certaines d'entre elles se cassent au moindre choc. Le développement est entravé et l'épiaison arrêtée. Les plantes atteintes sont souvent mortes lors de la récolte.

D'après KOTTHOFF, il s'agirait de la même race de *D. dipsaci* que celle qui commet des dégâts sur betterave. Notre observation à Haacht tend à confirmer cette hypothèse.

2. — *Ditylenchus dipsaci* KÜHN sur Avoine.

Si les dégâts de *D. dipsaci* sont courants sur seigle en Belgique, il n'en est pas de même en ce qui concerne l'Avoine. Nous avons montré lors d'une publication précédente que certaines races de cette espèce qui détruisent le seigle, passent sur avoine sans y provoquer le moindre symptôme d'infection.

En juin 1952, M. J. BARTIER, Professeur de Zoologie appliquée à l'École d'Agriculture et d'Élevage de Ath, nous signala un champ d'avoine attaqué par le nématode de la tige. Ce champ, situé à Belœil en zone limoneuse, était atteint sur toute sa superficie. Les plantules présentaient les symptômes caractéristiques dus à la présence de *D. dipsaci* dans les tissus : poireautage et nanisme. Lors de notre visite, en juin, quelques jours de pluie venaient de succéder à une très longue période de sécheresse, et les dégâts étaient, de l'avis du cultivateur, moins spectaculaires que la semaine précédente. Les plantes qui étaient alors chlorotiques et jaunissantes, avaient retrouvé leur couleur verte sous l'effet de la pluie. Néanmoins, toutes présentaient un tallage anormal et restaient petites. La parcelle, de 35 ares environ, était emblavée en partie avec la variété « Soleil II » et en partie avec la variété « Marne ». Alors que la première montrait des symptômes marqués, la seconde paraissait à peine atteinte : elle n'offrait que quelques plantes anormales distribuées par-ci par-là, et les signes extérieurs de l'infestation étaient atténués.

D'après le cultivateur, c'est la première fois qu'un cas semblable est constaté dans la région, ce type de dégât y étant inconnu. Si l'on se réfère à cette opinion, on peut se demander pourquoi cette attaque s'est manifestée d'une façon aussi spectaculaire ?

Cette parcelle comprenant les deux variétés, a été emblavée d'avoine en 1949, 1951 et 1953. Ces trois répétitions à deux ans d'intervalle ont certainement favorisé la multiplication des *D. dipsaci*. Les dégâts ne se sont manifestés de façon visible qu'en 1953, et il semble que ce soit surtout la sécheresse persistante qui leur ait conféré l'allure catastrophique ayant attiré l'attention du cultivateur. Si les précipitations avaient été normales pour la saison, peut-être se serait-il contenté de constater que l'avoine ne « venait pas bien », ainsi que le praticien de la région le déclare certaines années. Il est possible que ces échecs de la culture de l'avoine soient dus en fait à des dégâts atténués de *Ditylenchus dipsaci*. Une enquête à ce sujet est nécessaire.

3. — *Ditylenchus dipsaci* sur Betteraves.

Attirons l'attention sur le fait que M. SIMON, Directeur de l'Institut Belge pour l'Amélioration de la Betterave, a découvert en 1951 *D. dipsaci* sur betteraves sucrières dans la région de Juprelle. Les symptômes étaient pareils à ceux que nous avons décrits sur betteraves fourragères dans une note précédente. Ils n'ont été observés que sur quelques plants.

Profitons de l'occasion pour préciser que dans les cas que nous avons étudiés et qui figurent dans cette note, il s'agissait bien de *D. dipsaci* et que nous n'avons pas encore rencontré dans ce cas de *D. destructor*. Des dégâts particuliers dus à cette espèce et qui diffèrent quelque peu de ceux occasionnés sur betteraves fourragères par *D. dipsaci*, ont été décrits à l'étranger.

4. — *Pratylenchus pratensis* DE MAN sur Maïs.

La coloration des radicelles de maïs prélevés à Gentinne a mis en évidence l'existence de nématodes. L'extraction a montré qu'il s'agissait de *Pratylenchus pratensis* DE MAN. Toutefois, étant donné le type de dégât et le grand nombre de *Ditylenchus dipsaci* trouvé dans les collets, nous avons jugé que cette seule espèce était responsable du mauvais état des plants malades.

En octobre 1953, nous avons reçu des collets et racines de maïs provenant de Silly (province de Hainaut — terrain limoneux). Ils avaient été prélevés après la récolte dans un champ dont certaines plantes avaient présenté un facies anormal : jaunissement des feuilles et verse. L'examen des collets est resté négatif, mais la coloration a montré des nématodes dans la région corticale de certaines radicelles. Il s'agissait à nouveau de *Pratylenchus pratensis*, en général à l'état larvaire. Dans l'ensemble, l'enracinement nous parut normal, bien que certaines radicelles présentaient un chevelu excessif.

BIBLIOGRAPHIE

1. J. BERNARD, 1952, « *Parasitica* », VIII, 1, pp. 28-39.
 2. P. KOTTHOFF, 1938, « *Zeitschr. f. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* », 48, pp. 199-201.
-



Fig. 1.

Ditylenchus dipsaci.

Dégâts sur maïs.



Fig. 2.

Ditylenchus dipsaci.

Dégâts sur avoine.

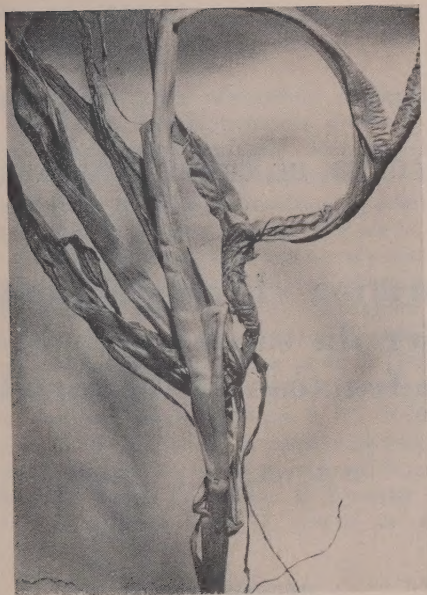


Fig. 3.

Ditylenchus dipsaci.

Dégâts sur maïs.



Fig. 4.

Ditylenchus dipsaci.

Dégâts sur avoine.

Séparation chromatographique sur papier du saccharose, du glucose, du fructose et du sorbitol.

par

R. HUYGENS et J. CASIMIR

INTRODUCTION

PARTRIDGE (1) a appliqué aux sucres la méthode décrite par CONSDEN, GORDEN et MARTIN (2) pour l'analyse chromatographique sur papier des acides aminés. Depuis, les publications relatives à ce sujet sont nombreuses. Plusieurs auteurs ont déjà utilisé la séparation chromatographique des sucres sur papier au cours de recherches de biologie végétale.

Les solvants renseignés par la littérature ne donnent pas toujours des séparations nettes; c'est particulièrement le cas du saccharose, du glucose et du fructose qui sont les sucres les plus communément trouvés; dans de nombreux milieux biologiques on trouve également des polyalcools, par exemple, le sorbitol. Les différences de R_f entre les spots de ces substances sont insuffisantes pour en assurer une bonne séparation. Celle-ci est utile, si l'on désire déterminer leur présence sans équivoque; elle est nécessaire, si, en vue de l'analyse quantitative, on doit éluer les substances du papier. JERMYN et ISHERWOOD (3) ont étudié une série de solvants et ont ainsi montré que, dans de nombreux cas, l'optimum de séparation est atteint pour des valeurs peu élevées de R_f , ce qui nécessite un développement prolongé; le solvant peut, dans ce but, dépasser la longueur du papier et s'écouler goutte à goutte au bas de celui-ci. Cependant, JERMYN et ISHERWOOD n'ont pas étudié la séparation des sucres que nous signalons. HOUGH (4) donne les valeurs des R_f obtenues avec cinq solvants pour quelques polyalcools et pour le saccharose; il ressort de son travail que la séparation sur papier des hexitols: sorbitol, mannitol et dulcitol est difficile, mais il n'a pas envisagé la séparation de sucres et de sorbitol. Nous avons donc examiné le problème de la séparation chromatographique sur papier du saccharose, du glucose, du fructose et du sorbitol. Nous avons d'abord comparé l'action séparatrice d'une série de solvants dont certains aux huiles de fusel, selon JEANES, WISE et DIMMLER (5). Nous avons déterminé les

solvants permettant la meilleure séparation bidimensionnelle; dans ce cas, nous avons opéré des développements doubles, nous inspirant de la technique au développement multiple décrite par JEANES, WISE et DIMMLER (5). Ceux-ci ont réalisé la séparation en faisant passer le solvant à plusieurs reprises dans la même direction; parmi les différents cas envisagés, ils ont étudié la séparation du glucose et du fructose. Nous avons également essayé d'obtenir une bonne séparation des sucres par un développement continu pendant plusieurs jours en fixant au bas du papier un tampon d'ouate absorbeur (6). Signalons que, grâce à cette technique, nous avons pu réaliser dans un travail précédent (7) la séparation du sorbitol et du mannitol que l'on peut difficilement différencier par chromatographie sur papier. Pour révéler les sucres, nous avons vaporisé sur le papier une solution alcoolique à 0,5 % de taurochlorate de sodium en présence de 10 % d'acide orthophosphorique (8); puis, après séchage, nous avons vaporisé le réactif à la benzidine de HORROCKS (9). Nous pouvons de cette façon identifier la presque totalité des sucres. Nous avons révélé le sorbitol avec le réactif au nitrate d'argent de TREVELYAN (10).

RESULTATS

Etablissement des tableaux de Rf.

Les tableaux 1 à 4 indiquent les valeurs de Rf multipliés par 100 pour le saccharose, le glucose, le fructose et le sorbitol en utilisant des solvants décrits par la littérature et d'autres que nous avons mis au point nous même. Les proportions citées pour les compositions des solvants sont données en volumes. Nous avons utilisé la fraction des huiles de fusel distillant entre 121 et 129° C. Nous avons employé du papier SCHLEICHER et SCHULL n° 2040 b, les solvants s'écoulant toujours dans le sens lent du papier. Nous avons déposé sur le papier à l'aide de pipettes environ 4 à 5 μ l. des solutions de sucres ou de polyalcool à 2,5 %.

TABEAU 1. Valeurs des $R_f \times 100$ de différents sucres et du sorbitol pour des solvants acides contenant du n butanol.

SOLVANTS.

	Butanol 5 Acide acétique 1 Eau 2	Butanol 4 Acide acétique 1 Eau 5	Butanol 20 Acide acétique 5 Eau 25 HCl 1 % (en poids)	Butanol -7,7 Acide formique 1,5 Eau 0,8
Saccharose	13	14	14	4
Glucose	22	18	16	9
Fructose	24	22	18	13
Sorbitol	22	20	17	11

TABLEAU 2. Valeurs des $R_f \times 100$ de différents sucres et du sorbitol pour des solvants au n butanol alcalins ou neutres.

SOLVANTS.

	Butanol 4 Ethan. 1,1 Eau 1,3	Butanol 4 Ethan. 1 Eau 5	Butanol 4 Ethan. 1 Eau 4,9 NH ₃ 1 % (en poids)	Butanol 3 Pyrid. 1 Eau 1,5	Benzène 1 Butanol 5 Pyrid. 3 Eau 3
Saccharose	14	8	7	17	20
Glucose	15	13	13	20	27
Fructose	19	16	15	24	34
Sorbitol	19	14	14	18	26

TABLEAU 3. Valeurs des $R_f \times 100$ de différents sucres et du sorbitol pour les solvants contenant des huiles de fusel.

SOLVANTS.

	Fusel 1 Picoline 1 Eau 1	Fusel 1 Pyridine 1 Eau 1	Fusel 1 Pyridine 2 Eau 1	Fusel 1 Pyridine 1 Eau 2	Fusel 2 Pyridine 1 Eau 1	Fusel 3 Pyridine 2 Eau 1,5	Fusel 4 Acide acétique 1 Eau 1
Saccharose	9	28	37	28	9	15	4
Glucose	19	33	47	31	12	21	9
Fructose	22	36	50	32	15	22	12
Sorbitol	18	28	43	25	11	19	11

TABLEAU 4. Valeurs des $R_f \times 100$ de différents sucres et du sorbitol pour d'autres solvants.

SOLVANTS.

	Isopropanol 7 Acide acétique 2 Eau 1	Phénol saturé d'eau
Saccharose	16	38
Glucose	27	37
Fructose	32	51
Sorbitol	32	—

Séparation par développement double effectué bidimensionnellement.

Les chromatogrammes ont été développés à l'aide de solvants passant chacun deux fois sur le papier. L'ordre des développements successifs est le suivant : (voir figure 1)

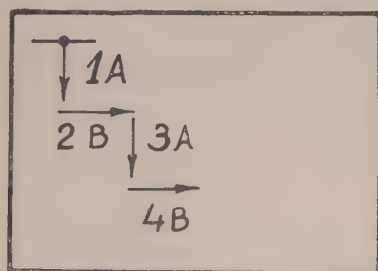


FIGURE 1.

Le premier solvant (A) coule dans la direction 1: la feuille est séchée, puis redéveloppée dans le sens 2 par le deuxième solvant (B). Après un nouveau séchage, la feuille est redéveloppée dans le sens 1 par le solvant

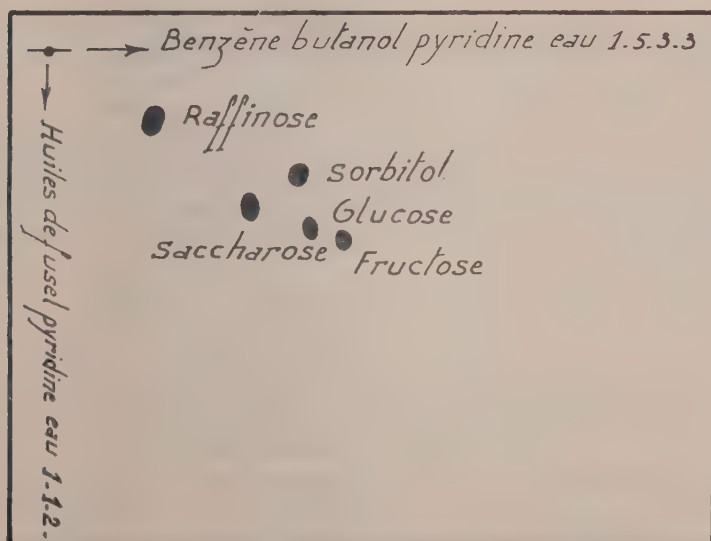


FIGURE 2.

A, puis à nouveau séchée et développée dans le sens 2 par le solvant B. Deux essais ont été menés simultanément; l'une des feuilles étant révélée au taurocholate et à la benzidine et l'autre au nitrate d'argent selon

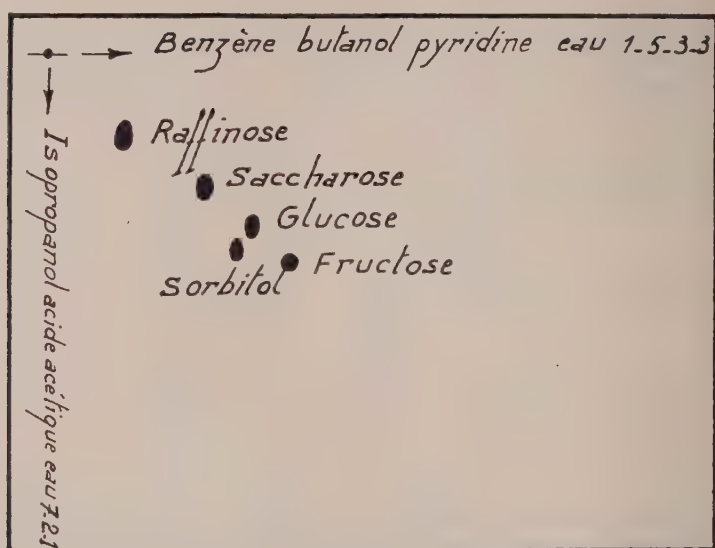


FIGURE 3.

TREVELYAN. Le premier chromatogramme permet la révélation des sucres tandis que le deuxième donne en plus le sorbitol. L'utilisation du mélange benzène butanol pyridine eau 1-5-3-3 dans une direction et celle du mélange huiles de fusel pyridine eau 1-1-2 ou du mélange isopropanol acide acétique eau 7-2-1 dans l'autre a donné les meilleurs résultats. Nous avons remarqué au cours des essais la nécessité de faire couler le solvant à l'isopropanol dans le sens rapide du papier de façon à éviter l'étalement des spots. Les figures 2 et 3 schématisent des chromatogrammes obtenus avec un mélange de raffinose, de saccharose, de glucose, de fructose et de sorbitol.

*Séparation monodimensionnelle par la technique
utilisant le tampon d'ouate.*

TABLEAU 5. Séparation d'un mélange de sucres et de sorbitol
par le développement au tampon d'ouate.

Distance parcourue par le spot en cm.

SOLVANTS.	Fusel 1 Pyridine 1 Eau 2	Benzène 1 Butanol 5 Pyridine 3 Eau 3
Raffinose	11.4	10
Sorbitol	19.1	29.8
Saccharose	17.8	25
Glucose	20.6	32.5
Fructose	22.3	36

Les résultats ont été obtenus après 150 heures de développement. Seul le deuxième solvant a permis une séparation nette des différents spots.

Les deux méthodes de développement nous ont permis d'effectuer une bonne séparation des sucres envisagés et les méthodes décrites peuvent être appliquées à la recherche de sucres et de sorbitol ou de mannitol dans des milieux biologiques.

Nous adressons nos vifs remerciements à Monsieur le professeur RENARD pour les conseils qu'il a bien voulu nous prodiguer au cours de ce travail.

RESUME

Les auteurs ont recherché les solvants permettant une bonne séparation sur papier du saccharose, du glucose, du fructose et du sorbitol. Ils ont réalisé la séparation chromatographique, soit bidimensionnellement en utilisant des développements doubles, soit par la technique permettant un développement prolongé grâce à la fixation au bas du papier d'un tampon d'ouate absorbant.

(Travail subsidié par le Centre National de Chimie Organique.)

BIBLIOGRAPHIE

- 1) PARTRIDGE, S. M., 1946 — *Nature*, 158, 270.
1948 — *Biochem. J.*, 42, 238.
- 2) CONSDEN, R., GORDON, A. H. et MARTIN, A. J. P., 1944 — *Biochem. J.* 38, 224.
- 3) JERMYN, M. A. et ISHERWOOD, F. A., 1949 — *Biochem. J.*, 44, 402.
- 4) HOUGH, L., 1950 — *Nature*, 165, 400.
- 5) JEANES, A., WISE, C. S. et DIMMLER, R. J., 1951 — *Anal. chem.* 23, 415.
- 6) cfr MIETTINEN, J. K. et VIRTANEN, A. J., 1949 — *Acta Chem. Scand.*, 3, 459.
- 7) CASIMIR, J. et HUYGENS, R., 1953 — *Arch. Intern. Physiologie*. LXI, 557.
- 8) CASIMIR, J. et HUYGENS, R., 1952 — *Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux*, XX, 384.
- 9) HORROCKS, R. H., 1949 — *Nature*, 164, 444.
- 10) TREVELYAN, W. E., PROTECTOR, D. P. et HARRISON, J. S., 1950 — *Nature*, 166, 444.

Extraction des Carotènes en vue de leur détermination

par

R. LECOMTE et P. SEILLEUR

INTRODUCTION

Pour la détermination du taux des carotènes dans les produits végétaux, nous avons utilisé au cours des trois dernières années, la méthode de séparation chromatographique décrite en 1943 par WALL et KELLEY (1).

Nous y avons apporté seulement quelques modifications de détail ou d'équipement (2) qui, sans toucher en rien au principe de cette technique, présentent l'avantage, pensons-nous, de la rendre plus fidèle et d'exécution plus simple.

Voici la façon de procéder : il s'agit de chromatographier sur une colonne de mélange hyflo-supercel et oxyde de magnésium dans la proportion de 3 pour 1, la solution, dans l'éther de pétrole léger, des différents pigments du produit végétal soumis à l'analyse. L'élution se fait à l'aide d'un mélange d'acétone et d'éther de pétrole, le taux d'acétone variant de 2 à 5 %.

On évapore l'éluat sous vide et sous azote. Le résidu est repris par une quantité mesurée de chloroforme. On apprécie le taux de carotène en déterminant la densité optique de cette solution à la longueur d'onde de 463 m μ , le chloroforme pur étant pris comme blanc.

Cette partie du dosage, encore qu'elle requière de l'opérateur un long entraînement et la connaissance de nombreux tours de main, n'en reste pas moins simple, du point de vue analytique et peu sujette à discussion.

Par contre, pour ce qui concerne l'extraction des pigments, le problème s'avère plus complexe.

D'innombrables méthodes ont été proposées. Citons en ordre principal, les suivantes :

- Extraction à chaud en présence de potasse caustique (PETERSON HUGHES et FREEMAN) (3).
- Extraction au Soxhlet (WALL et KELLEY) (1).
- Extraction par le mélange moussant de MOORE et ELY (4).

Et enfin, extraction à froid par l'acétone. (5)

Nous avons utilisé, en les modifiant comme on le verra plus loin, d'une part les extractions de WALL et KELLY au Soxhlet pour les produits secs et d'autre part l'extraction à l'émulsionneur par l'acétone et l'éther de pétrole pour les produits frais.

Les résultats obtenus n'ayant pas donné entière satisfaction, nous avons cherché une autre méthode. Les résultats de ce travail et leur discussion sont exposés ci-après.

EXTRACTION

Les carotènes sont solubilisés par les solvants des graisses. Le solvant d'extraction utilisé est un mélange de une partie d'acétone pour deux parties de Skelly Solve B (éther de pétrole, P.E. compris entre 60 et 70°).

Les méthodes d'extraction que nous avons adoptées jusqu'à présent, variaient d'après l'état de dessiccation du produit à analyser.

1) Les produits desséchés.

Ils sont traités à l'extracteur de Kumagawa, pendant deux heures, par 50 cc. du mélange de solvant ci-dessus. La prise d'essai (5-10 grs) est placée dans le godet d'extraction, entre deux bourres de laine de verre.

2) Les produits frais.

La prise d'essai (25-50 grs) est triturée à l'émulsionneur à hélices tranchantes, en présence d'une quantité suffisante du mélange de solvants renseigné. On renouvelle le solvant jusqu'à disparition de la teinte verte et l'on recueille après filtration, sur godet filtrant G.3, les différentes portions d'extractif.

Celles-ci sont mélangées : on en mesure le volume total dont on prélève une quantité pour les opérations ultérieures.

Cette façon de procéder présente l'inconvénient suivant : l'eau (intracellulaire et d'imbibition) de la prise d'essai gêne l'extraction. Le taux d'acétone du solvant ne permet pas une déshydratation suffisante du produit.

Nous avons essayé d'extraire l'eau mécaniquement après trituration : malheureusement, nous nous sommes heurtés à des difficultés techniques. Nous avons alors essayé d'extraire directement à l'acétone pure, deux fois successivement, le troisième passage s'effectuant avec le mélange mentionné plus haut. Ce procédé permet l'extraction en un temps record (20 minutes).

Malgré ces améliorations, ces procédés d'extraction donnaient des résultats peu reproductibles, et, sans doute, peu exacts.

Il nous a semblé qu'il serait souhaitable d'extraire de la même façon tous les produits à analyser, qu'ils soient frais ou desséchés. Il suffisait pour cela de déshydrater les produits frais sans oxyder ou altérer d'une manière quelconque leur composants, puis de les transformer en poudre. Cette poudre peut être obtenue facilement, à partir de fourrages secs,

par mouture au moulin à marteaux. Pour les fourrages frais, nous recourons à la lyophilisation.

Voici comment nous procédons.

Les produits frais, dès leur arrivée au laboratoire, sont débités au hache-paille en tronçons de 0,5 à 1 cm de longueur. La masse obtenue est brassée et homogénéisée au mieux. Après étalement, on en prélève 1 à 2 kgs. Cet échantillon est immédiatement placé dans un conservateur à glace carbonique à la température de -70° C. Il y est donc congelé rapidement; de plus, il se trouve dans un milieu inerte, où respiration et perte d'eau sont rendues impossibles. Après congélation, l'échantillon est moulu, en présence de glace carbonique, au moulin à marteaux, préalablement réfrigéré. On obtient ainsi une poudre d'aspect sec, parce que congelée, du produit à analyser. C'est cette poudre qui est lyophilisée selon le processus original suivant.

Nous disposons d'un lyophiliseur du type « porc-épic » (ERVA) (*) qui utilise comme récipients d'évaporation des ballons Pyrex à fond rond. Dans ces ballons, chauffés au bain-marie bouillant, on introduit la poudre au sortir du moulin à marteaux. La paroi du ballon cède sa chaleur à la matière qui se dégèle et adhère à la paroi. Remarquons qu'au cours de cette opération, le matériel ne peut s'oxyder puisque la glace carbonique à laquelle il est mélangé se sublime, créant ainsi une atmosphère inerte. Le ballon est immédiatement placé dans le conservateur à carboglace et après congélation, est connecté au lyophiliseur.

Au terme de l'opération, la matière se présente sous forme d'une poudre sèche qui est conservée, en présence d'azote, dans des poudriers bouchés.

Les produits secs extraits au Soxhlet ou au Kumagawa subissent des pertes en carotènes dues à l'oxydation de la prise d'essai au cours de l'extraction. Cette méthode, d'autre part, immobilise l'appareil pendant 2 heures.

Nous lui avons substitué ce processus original. Il consiste à mettre en contact direct la prise d'essai avec un volume exactement mesuré de solvant qu'on porte à ébullition sous reflux; à cette fin, le Skelly Solve B, solvant plus spécifique des carotènes que le mélange acétone-éther de pétrole, est utilisé; il extrait moins les chlorophylles et donne un chromatogramme moins étalé; d'où, réduction du poids d'absorbant et vitesse accrue de la séparation. De plus, cette façon de faire n'exige pas l'évaporation de l'extractif et la reprise du résidu sec au Skelly Solve B préalable à la chromatographie.

Voici, précisée, la description de cette méthode d'extraction.

Dans un erlenmeyer de 250 cc., à rodage normalisé, on introduit successivement la prise d'essai (1 à 5 grs) et 100.0 cc. de Skelly Solve B. On le coiffe ensuite d'un réfrigérant de Allihn, également à rodage. On

(*) Bureau d'études E.R.V.A., 215, Avenue Brugmann, Bruxelles.

laisse bouillir le solvant à reflux pendant 15 minutes. Après ce temps, l'erlenmeyer, toujours coiffé de son réfrigérant, est éloigné de la source de chaleur. On le refroidit à la température du laboratoire. Le matériel extrait se dépose dans le fond du vase et il est possible, dès lors, de prélever exactement à la pipette une quotité de l'extractif et de la chromatographier immédiatement.

Remarquons que durant cette extraction, le produit à analyser ne peut s'oxyder : dès le début de l'ébullition, la vapeur chasse l'air de l'erlenmeyer.

DISCUSSION ET VERIFICATION

Au cours de ce chapitre, en exposant nos déterminations et en calculant la dispersion des résultats d'analyse, nous nous écartons peut-être des règles statistiques. Notre but n'a pas été de discuter mathématiquement nos résultats, mais de nous permettre de les comparer.

1) LE SOLVANT INTRODUIT EN QUANTITE MESUREE NE S'ÉVAPORE-T-IL PAS DURANT L'EXTRACTION ?

Pour résoudre cette question, nous avons introduit 100,0 cc. de solvant dans 6 erlenmeyers tarés. Après pesée du solvant, nous avons porté à l'ébullition pendant 30 minutes ces 6 erlenmeyers, coiffés de leur réfrigérant. Nous les avons pesés à nouveau après les avoir refroidis comme décrit plus haut. Le tableau ci-après nous donne le détail des pesées.

TABLEAU I.

	1	2	3	4	5	6
Poids de 100 cc. de solvant, avant ébullition (grs)	68.3854	68.3600	68.3788	68.3528	68.3906	68.3455
Poids de 100 cc. de solvant après ébullition ...	68.1812	68.1682	68.1992	68.1076	68.2079	68.1584
Perte de poids	0.2042	0.1918	0.1796	0.2452	0.1827	0.1871
Perte %	0.29	0.28	0.26	0.35	0.26	0.27

Perte moyenne : 0,285 %

La perte moyenne de solvant due à l'évaporation, 0,28 %, est remarquablement faible et constante.

2) QUEL TEMPS D'EXTRACTION ADOPTER ?

Une série d'essais s'impose. Il ne faut toutefois pas perdre de vue que nous dosons un élément très oxydable, qui disparaît avec le temps, même quand le matériel à analyser est conservé en atmosphère d' N_2 , dans un flacon hermétiquement bouché, placé à l'abri de la lumière solaire.

Cette perte pour le matériel lyophilisé faisant l'objet de notre essai est d'environ 3,5 % par semaine pendant le premier mois de conservation.

Nous ne pouvions donc effectuer notre expérimentation que dans un laps de temps réduit, si nous voulions éviter les calculs permettant de comparer des résultats obtenus dans des conditions diverses. D'autre part, les faibles coefficients de variation des essais exécutés jusqu'ici semblaient permettre la réduction de l'importance des séries.

Nous avons extrait 3 prises d'essai pendant chacun des temps suivants 4, 9, 15, 22, 30 et 39 minutes. Les résultats obtenus sont repris dans le tableau ci-après.

TABLEAU II.

N ^o	Durée de l'extraction en minutes	Prise d'essai en grs	Mgrs de carotène par kg de M.S.	Teneur moyenne par série
1		1.6682	289.81	
2	4'	1.6461	282.48	282.67
3		1.5642	275.74	
4		1.6548	277.06	
5	9'	1.5458	281.84	277.23
6		1.6329	272.79	
7		1.6358	270.31	
8	15'	1.6771	285.03	279.52
9		1.7263	283.21	
10		1.7103	280.13	
11	22'	1.6450	286.63	281.80
12		1.6863	278.66	
13		1.7252	285.90	
14	30'	1.6832	284.65	285.51
15		1.6260	285.98	
16		1.6382	290.48	
17	39'	1.6801	279.35	285.83
18		1.5901	287.65	

Si nous examinons les teneurs moyennes pour chacune des séries, nous constatons, la première mise à part, une extraction d'autant meilleure que la durée d'extraction est plus longue, avec une différence très faible entre les deux dernières, ce qui est d'ailleurs dans l'ordre normal des choses.

Pouvons-nous dégager de cet essai la durée d'extraction à adopter ? Nous ne le pensons pas. Il faudrait de plus grandes séries et établir par le calcul si les différences entre moyennes sont significatives ou pas.

Une durée d'extraction de 15 minutes semble être suffisante. Elle ne nécessite d'autre part qu'une mobilisation réduite de la rampe.

3) L'ANCIENNE ET LA NOUVELLE METHODE DONNENT-ELLES DES RESULTATS COMPARABLES ?

a) Produits desséchés.

Nous avons extrait au Kumagawa, pendant 2 heures, par un mélange de Skelly Solve B et d'acétone (2 pour 1), 6 prises d'essai d'un échantillon moyen de foin de trèfle dosant 90,02 % de matière sèche : nous avons obtenu les résultats suivants :

TABLEAU III.

N°	Prise d'essai en grs	Carotène en mgr par kg	(x - x')	(x - x') ²
1	2.8244	13.87	+ 0.85	0.7225
2	2.7154	12.82	— 0.20	0.0400
3	2.9949	12.95	— 0.07	0.0049
4	2.7169	13.32	+ 0.30	0.0900
5	3.1186	12.37	— 0.65	0.4225
6	3.3287	12.79	— 0.23	0.0529

Moyenne

$$x' = 13.02$$

Ecart type = 0.515.

$$\text{Coefficient de variation} = \frac{0.515 \times 100}{13.02} = 3.9 \%$$

Nous avons alors prélevé 6 autres prises d'essai et les avons extraites par la nouvelle méthode, pendant 15 minutes. Nous avons groupé dans le tableau suivant les résultats obtenus.

TABLEAU IV.

N°	Prise d'essai en grs	Carotène en mgr par kg	(x - x')	(x - x') ²
1	3.5114	15.49	— 0.10	0.0100
2	3.2856	15.70	+ 0.11	0.0121
3	3.4157	15.69	+ 0.10	0.0100
4	3.5231	15.66	+ 0.07	0.0049
5	3.6498	15.67	+ 0.08	0.0064
6	3.9541	15.37	— 0.22	0.0484

Moyenne

$$x' = 15.59$$

Ecart type = 0.135.

$$\text{Coefficient de variation} = \frac{0.135 \times 100}{15.59} = 0.86 \%$$

La nouvelle méthode donne donc, non seulement des résultats plus élevés que l'ancienne, mais son écart type a une valeur 4 fois moindre. d'où un coefficient de variation réduit d'autant.

b) Produits frais.

Nous avons pris du trèfle vert, au début de sa floraison, comme matériel d'analyse.

Nous en avons prélevé 12 prises d'essai qui ont été extraites directement à l'émulsionneur. Le tableau ci-après reprend les taux de carotène exprimés en mgr par kg de matière sèche.

TABLEAU V.

N°	Prise d'essai en grs	Carotène en mgr par kg de M.S.	(x - x')	(x - x') ²
1	20.86	300.14	+ 12.68	160.78
2	23.02	247.74	— 39.72	1577.67
3	25.73	226.66	— 60.80	3696.64
4	30.665	278.36	— 9.10	82.81
5	28.295	294.96	+ 7.50	56.25
6	11.395	402.82	+ 115.36	13307.92
7	31.10	265.71	— 21.75	473.06
8	22.40	278.73	— 8.73	76.21
9	17.055	310.25	+ 22.79	519.38
10	24.28	252.77	— 34.69	1203.39
11	21.995	328.03	+ 40.57	1645.92
12	35.23	263.35	— 24.11	581.29

Moyenne

$$x' = 287.46$$

$$\text{Ecart type} = 46.10.$$

$$\text{Coefficient de variation} = \frac{46.10 \times 100}{287.46} = 16,03 \%$$

De ce même échantillon de trèfle, nous avons prélevé 3 fois 2 kgs de matière que nous avons congelés dans un conservateur à glace carbonique et lyophilisés comme il a été décrit. L'analyse de 12 prises d'essais, selon la nouvelle méthode, donne les résultats que nous reproduisons ci-après.

TABLEAU VI.

N°	Prise d'essai en grs	Carotène en mgr par kg de M.S.	(x - x')	(x - x') ²
1	2.2642	300.90	— 2.68	7.18
2	2.0694	302.65	— 0.93	0.86
3	2.5303	291.00	— 12.58	158.25
4	2.3929	304.17	+ 0.59	0.34
5	2.2641	308.40	+ 4.82	23.23
6	2.2934	302.61	— 0.97	0.94
7	2.6017	312.30	+ 8.72	76.03
8	2.2293	305.61	+ 2.03	4.12
9	2.2834	303.94	+ 0.36	0.12
10	2.2593	305.31	+ 1.73	2.99
11	2.4880	301.05	— 2.53	6.40
12	2.4968	305.07	+ 1.49	2.22

Moyenne

$$x' = 303.58$$

$$\text{Ecart type} = 5,06.$$

$$\text{Coefficient de variation} = \frac{5,06 \times 100}{303,58} = 1,67 \%$$

Si nous comparons ces deux tableaux, nous constatons que pour les produits frais, la nouvelle méthode donne des résultats plus élevés que l'ancienne, mais cette fois avec un coefficient de variation 10 fois moindre.

Cette différence d'importance des coefficients de variation nous a incités à en chercher la cause, car on pourrait à vrai dire, incriminer le prélèvement des prises d'essais. Nous avons procédé de la façon suivante : les reliquats de trèfle moulu ayant servi à la préparation du matériel lyophilisé ont été mélangés. Après évaporation de la glace carbonique, 12 prises d'essai ont été prélevées; ces 12 prises d'essai furent extraites à l'émulsionneur selon l'ancienne méthode; nous en avons groupé les résultats dans le tableau suivant.

TABLEAU VII.

N°	Prise d'essai en grs	Carotène en mgr par kg de M.S.	$(x - x')$	$(x - x')^2$
1	20.94	282.51	+ 10.37	107.53
2	24.14	253.16	— 18.98	360.24
3	28.31	276.97	+ 4.83	23.32
4	25.825	232.32	— 39.82	1585.63
5	26.64	269.20	— 2.94	8.64
6	25.16	256.23	— 15.91	253.12
7	25.08	270.37	— 1.77	3.13
8	26.46	307.95	+ 35.81	1282.35
9	22.11	242.32	— 29.82	889.23
10	26.04	297.90	+ 25.76	663.57
11	23.975	275.58	+ 3.44	11.83
12	35.57	301.25	+ 29.11	897.39

Moyenne

$$x' = 272.14$$

Ecart type = 23,42.

$$\text{Coefficient de variation} = \frac{23.42 \times 100}{272.14} = 8,60 \%$$

Si nous rapprochons les tableaux V et VII, nous voyons que le trèfle haché extrait à l'émulsionneur donne des résultats plus élevés que le trèfle moulu en présence de carboglace et extrait de la même façon (287,46 mgr contre 272,14). Toutefois, le coefficient de variation est plus élevé pour le trèfle haché que pour le trèfle moulu (16,03 contre 8,60).

La seule différence entre les deux séries de manipulations étant le prélèvement de prise d'essai, nous pouvons imputer à celle-ci ces différences.

En effet, le trèfle moulu, plus homogène, devait nécessairement donner des résultats moins dispersés.

Quant au taux de carotène plus élevé pour le trèfle haché il est dû, croyons-nous, au fait que les folioles entrent en plus grande proportion dans la prise d'essai que les tronçons de tige; ceux-ci, à cause de leur forme cylindrique, s'échappent des pincées de prélèvement.

4) QUELLE EST L'IMPORTANCE DU COEFFICIENT DE VARIATION
POUR LES ANALYSES DE CAROTÈNE,
REALISEES SELON NOTRE NOUVELLE METHODE ?

La nature des produits à analyser et leur teneur en carotène doivent avoir, à première vue, une influence sur le coefficient de variation. Il n'est malheureusement pas possible de trouver pour un même produit des teneurs très différentes en carotène tout en conservant la même proportion des autres constituants. Nous nous bornerons seulement à analyser des fourrages à teneurs différentes en carotène.

Selon nos possibilités, nous avons fait pour chaque essai 6 ou 12 répétitions.

a) *Foin de trèfle.*

N ^o	Prise d'essai en grs	Carotène en mgr par kg de M.S.	(x - x')	(x - x') ²
1	3.5114	15.49	- 0.10	0.0100
2	3.2856	15.70	+ 0.11	0.0121
3	3.4157	15.69	+ 0.10	0.0100
4	3.5231	15.66	+ 0.07	0.0049
5	3.6498	15.67	+ 0.08	0.0064
6	3.9541	15.37	- 0.22	0.0484

Moyenne

$$x' = 15.59$$

Ecart type = 0,135.

Coefficient de variation : 0.86 %.

b) *Maïs lyophilisé.*

N ^o	Prise d'essai en grs	Carotène en mgr par kg de M.S.	(x - x')	(x - x') ²
1	1.5762	165.68	+ 4.65	21.62
2	1.5365	161.40	+ 0.37	1.36
3	1.5033	161.97	+ 0.94	8.83
4	1.6370	161.88	+ 0.85	7.22
5	1.5921	160.79	- 0.24	5.76
6	1.5178	164.71	+ 3.68	13.54
7	1.5002	159.64	- 1.39	1.93
8	1.6349	156.58	- 4.45	19.80
9	0.9221	159.96	- 1.07	1.14
10	1.0229	164.72	+ 3.69	13.61
11	0.6297	154.04	- 6.99	48.86

Moyenne

$$x' = 161.03$$

Ecart type = 3,78.

Coefficient de variation = $\frac{3,78 \times 100}{161.03} = 2,35 \%$.

c) *Herbe lyophilisée.*

N°	Prise d'essai en grs	Carotène en mgr par kg de M.S.	(x - x')	(x - x') ²
1	0.2496	234.37	+ 3.97	15.76
2	0.3646	235.87	+ 5.47	29.92
3	0.4661	225.27	— 5.13	26.31
4	0.6041	217.67	— 12.73	162.05
5	0.7091	235.51	+ 5.11	26.11
6	0.7631	229.32	— 1.08	1.16
7	0.8688	235.38	+ 4.98	24.80
8	1.1638	221.68	— 8.72	76.03
9	1.3490	221.27	— 9.13	83.35
10	1.4935	231.67	+ 1.27	1.61
11	1.8413	239.50	+ 9.10	82.81
12	0.9436	237.38	+ 6.98	48.72

Moyenne

$$x' = 230.40$$

$$\text{Ecart type} = 7,25.$$

$$\text{Coefficient de variation} = \frac{7,25 \times 100}{230,40} = 3,14 \, \%$$

d) *Trèfle lyophilisé.*

N°	Prise d'essai en grs	Carotène en mgr par kg de M.S.	(x - x')	(x - x') ²
1	2.2642	300.90	— 2.68	7.18
2	2.0694	302.65	— 0.93	0.86
3	2.5303	291.00	— 12.58	158.25
4	2.3929	304.17	+ 0.59	0.34
5	2.2641	308.40	+ 4.82	23.23
6	2.2934	302.61	— 0.97	0.94
7	2.6017	312.30	+ 8.72	76.03
8	2.2293	305.61	+ 2.03	4.12
9	2.2834	303.94	+ 0.36	0.12
10	2.2593	305.31	+ 1.73	2.99
11	2.4880	301.05	— 2.53	6.40
12	2.4968	305.07	+ 1.49	2.22

Moyenne

$$x' = 303.58$$

$$\text{Ecart type} = 5.06.$$

$$\text{Coefficient de variation} = \frac{5.06 \times 100}{303.58} = 1,67 \, \%$$

e) Carottes lyophilisées (racine + fanes).

N ^o	Prise d'essai en grs	Carotène en mgr par kg de M.S.	(x - x')	(x - x') ²
1	1.4760	619.91	+ 1.49	2.22
2	1.3783	606.50	- 11.92	142.08
3	1.3503	622.08	+ 3.66	13.39
4	1.3230	628.87	+ 10.45	109.20
5	1.5494	611.84	- 6.58	43.29
6	1.5064	621.34	+ 2.92	8.52

Moyenne $\bar{x}' = 618.42$

Ecart type = 7,98.

$$\text{Coefficient de variation} = \frac{7.98 \times 100}{618.42} = 1,29 \%$$

Ces essais, trop peu nombreux, ne nous permettent pas de conclure que le coefficient de variation croît proportionnellement à la teneur en carotène des produits à analyser, mais nous constatons toutefois qu'il n'est en aucun cas supérieur à 3,2 %. Ceci nous permet de croire que la méthode proposée possède une grande valeur.

CONCLUSIONS

La méthode d'extraction préconisée exige la possession d'un lyophilisateur pour la détermination du taux de carotène des fourrages frais. Néanmoins, on doit lui reconnaître de grands avantages :

- 1) son coefficient de variation est très faible, compte tenu de la facilité avec laquelle s'oxydent les carotènes;
- 2) elle donne des résultats plus élevés et moins dispersés que les méthodes généralement utilisées;
- 3) l'erreur analytique est considérablement réduite étant donné que la prise d'essai se fait sur un échantillon homogène et que la fin de l'extraction n'est plus soumise à l'appréciation personnelle de l'opérateur;
- 4) elle est plus rapide et se prête beaucoup mieux au travail en série;
- 5) elle est moins dangereuse;
- 6) elle utilise moins de solvant (250 cc au maximum, contre 1,5 à 2 L pour l'ancienne méthode);
- 7) elle nécessite d'autre part un matériel d'analyse moins coûteux. Son prix de revient est donc en fin de compte moins élevé.

RESUME

Amenés depuis trois ans à déterminer le taux de carotène des fourrages produits à la ferme, les auteurs ont recherché une méthode d'extraction des pigments végétaux, plus simple, plus facile que celles existantes et se prêtant au travail en série.

Ils transforment leurs échantillons en poudre, par mouture au moulin à marteaux des produits desséchés, ou par lyophilisation après congélation des produits frais.

L'extraction de cette poudre a lieu dans une quantité mesurée de Skelly Solve B, mis à bouillir sous reflux pendant 15 minutes. Après refroidissement, une quantité de l'extractif est chromatographiée.

La description et la discussion de la méthode préconisée font l'objet se prêtant mieux au travail en série.

(Travail effectué sous les auspices de I.R.S.I.A.)

BIBLIOGRAPHIE

1. WALL, M. E. et KELLEY, E. G. (1943) *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.* 15, 18.
 2. STATION DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES, GEMBLOUX, (*Travail non publié*)
 3. PETERSON, W. J., HUGHES, J. W. et FREEMAN, H. F. (1937) *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.* 9, 71.
 4. MOORE, L. A. et ELY, R. (1941) *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.* 13, 600.
 5. ASSOCIATION OF VITAMIN CHEMIST INC. (1951) *Interscience Publishers Inc.*, p. 52, 2^e édition.
-

COMITE NATIONAL POUR L'ETUDE DE LA CULTURE FRUITIERE
(I. R. S. I. A.)
EN COLLABORATION AVEC LA
STATION DE RECHERCHES POUR L'AMELIORATION
DES PLANTES FRUITIERES ET MARAICHIERES

Contribution
à l'étude de la nutrition du pommier
par un essai en vases de végétation
Un aspect de l'effet des fumures croissantes
sur la composition minérale
des différents organes du pommier

par

A. LECRENIER, E. DERMINE et T. TRZCINSKI

PREMIERE PARTIE

Etude statique (1)

INTRODUCTION

Des essais antérieurs (2) ont montré que des pommiers adultes plantés dans des terres limoneuses de bonne qualité et recevant une alimentation normale réagissent de façon peu apparente, et surtout très lentement, à des accroissements de fumure même considérables.

La complexité d'un végétal tel qu'un pommier adulte constitua au cours de ces essais une difficulté considérable pour l'interprétation des résultats. L'impossibilité d'analyser l'entière des arbres oblige à appliquer la technique des diagnostics foliaire et ligneux. A l'emploi, cette technique elle-même s'est révélée insuffisamment au point.

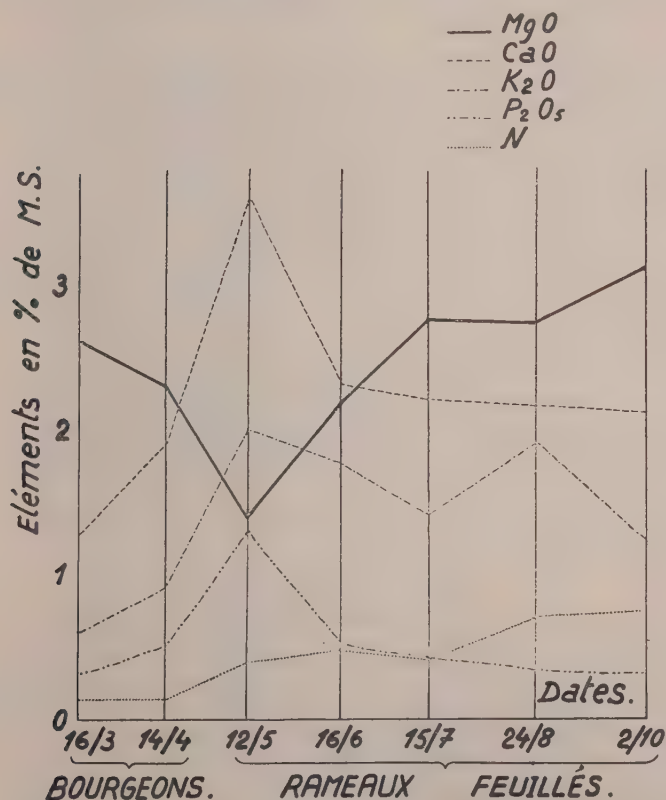
(1) La deuxième partie : « Etude dynamique » sera publiée ultérieurement.

(2) Communication au Congrès International d'Horticulture de Londres sur « La fertilisation du pommier : Résultats de 5 années de recherches sur la répartition des éléments chimiques dans la plante. Leur influence sur le rendement ».

Afin de connaître de façon plus précise l'influence des fumures croissantes sur le comportement du pommier, des essais en vases de végétation ont été réalisés. Dans ces essais, les conditions de culture ont été rendues aussi homogènes que possible, dans le but de réduire l'amplitude des variations dans les résultats. La possibilité d'analyser dans son entier, et cependant organe par organe, chaque sujet mis en expérimentation, a permis d'établir de façon beaucoup plus précise l'influence des fumures croissantes sur la composition minérale des divers organes composant un pommier (étude statique) et de suivre cette influence au cours de la saison de croissance (étude dynamique).

Les tableaux ci-après présentent une étude statique de la composition minérale du pommier, c'est-à-dire une étude de la composition minérale des différents organes à un moment donné. Une étude dynamique sera présentée ultérieurement.

A titre indicatif le graphique ci-dessous (graphique 1) situe l'évolution de quelques éléments dans le temps. Les analyses ont été faites d'abord



Graphique 1.

Evolution de la composition minérale des bourgeons dans le temps.

sur des bourgeons, ensuite sur les rameaux feuillés qui en sont issus. Bien que, par les conditions d'expérimentation, l'essai dont nous présentons quelques résultats dans le graphique 1 soit très différent de celui dont il est question dans le présent article, les courbes de variation des richesses minérales sont du même type dans les deux cas.

TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Les essais ont été réalisés sur pommiers de la variété Cox's Orange Pippin greffés sur S.P.G. type E.M. II. Les arbres étaient greffés depuis un an lors de la plantation.

Les arbres furent cultivés pendant trois années consécutives dans des vases de végétation de 64 litres, contenant un sable composé en parties égales d'éléments fins et grossiers.

Les solutions nutritives furent apportées régulièrement 2 jours sur 3 à raison d'un litre de solution en moyenne pour 60 litres de sable. Cette quantité fut cependant augmentée ou diminuée en tenant compte des conditions atmosphériques.

Les solutions s'écoulant par drainage, ne furent pas récupérées, de façon à toujours présenter aux racines des solutions fraîches, à équilibre ionique bien défini. Des lavages à l'eau pure ont été réalisés régulièrement tous les 8 jours, de manière à éliminer autant que possible le danger des accumulations salines dans le sable. Après un an de ce traitement, l'analyse du sable à différentes profondeurs révéla que les accumulations salines étaient négligeables.

Tous les arbres mis en culture pour cet essai reçurent des solutions nutritives ayant même équilibre ionique, mais des concentrations différentes.

Les solutions nutritives furent préparées à partir de solutions mères très concentrées, ce qui permit une simplification appréciable du travail.

La composition de la solution prête à l'emploi était la suivante, en gr par litre pour la dose simple : P : 0,0252; S : 0,0702; Cl : 0,0152; Ca : 0,0162; Mg : 0,0389; K : 0,132; Na : 0,0622; N : 0,0837 (+ Bo. Mn, Zn, Cu, Fe, Ni, Co).

Ces quantités furent multipliées par 2 et 3 afin d'obtenir des concentrations double et triple.

ECHANTILLONNAGE

Tous les mois, pendant 3 cycles de croissance consécutifs, un certain nombre d'arbres correspondant à chaque type d'alimentation furent arrachés avec toutes leurs racines et analysés dans leur entièreté. Rappelons que les chiffres présentés ci-après sont les résultats d'un seul échantillonnage, celui du 21 septembre 1949.

Les arbres furent disséqués en de nombreux échantillons, afin de connaître la destination des éléments minéraux mis à leur disposition. Les organes suivants furent analysés séparément :

Echantillon n° 1. — Feuilles des rameaux d'un an. Ces feuilles sont celles qui proviennent de toutes les pousses végétatives âgées d'un an.

Echantillon n° 2. — Autres feuilles : ces feuilles constituent un ensemble relativement hétérogène. En effet, on y retrouve en proportions variables des feuilles provenant de pousses fructifères, des feuilles de lambourdes ou de dards et enfin des feuilles de pousses purement végétatives.

Echantillon n° 3. — Bois d'un an. Il s'agit en fait de l'entièreté des pousses d'un an dépourvues de leurs feuilles.

Echantillon n° 4. — Bois divers : il s'agit des éléments formant la charpente, les lambourdes et autres productions âgées de plus d'un an.

Echantillon n° 5. — Ecorce du tronc : chaque fois que la chose fut possible, le tronc fut séparé en deux parties : écorce et bois.

Echantillon n° 6. — Bois du tronc.

Echantillon n° 7. — Section de greffe : la partie du tronc où se fait l'union entre le S.P.G. et la variété étant composée de tissus très irréguliers, est analysée séparément.

Echantillon n° 8. — Racines âgées : comporte l'entièreté de l'enracinement à l'exception des racines d'un an qui constituent l'échantillon n° 9.

METHODES D'ANALYSE

Azote : méthode KJELDAHL, le dosage est effectué sur la matière sèche.

Autres déterminations, effectuées sur les cendres calcinées :

Phosphore : méthode colorimétrique à l'hydroquinone.

Potasse : méthode pondérale au chloroplatinate.

Calcium : méthode volumétrique au permanganate de potasse.

Magnésium : méthode colorimétrique au jaune de thiazol.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

A) L'AUGMENTATION DE LA CONCENTRATION DU MILIEU DE CULTURE CORRESPOND-ELLE

A UNE AUGMENTATION DE LA CROISSANCE VEGETATIVE ?

TABLEAU 1.

*Variation du poids de la matière sèche
en fonction de la concentration du milieu de culture :*

a) en fonction du témoin, ne recevant que de l'eau. (1)

témoin	simple	double	triple dose
100	290	460	270
b) en % de la simple dose			
30	100	160	90

(1) Caractéristique de l'eau d'arrosage :

pH	6,5	matière fixe	719,1 mg/l
matière sèche	743 mg/l	soufre (S)	50,1 mg/l
— perte au feu	23,9 mg/l	chlore (Cl)	14 mg/l

TABLEAU 2

*Manifestations des différentes concentrations de la même fumure sur la croissance.
Matières fraîches exprimées en grammes pour différents organes.*

Echantillon n°	témoin	simple	double	triple
1. Feuilles rameaux 1 an ...	73	271	406	220
2. Autres feuilles	18	41.2	20	16
3. Bois 1 an	33	185.5	309	130
4. Autres bois	35	70.5	158.5	114
5. Ecorce tronc	47	90	133	84
6. Bois tronc	75	175.5	287.5	162
7. Union de greffe	59	53.5	126.5	83
8. Racines de + d'un an ...	92	279.5	440	255
9. Jeunes racines	126	359.5	565	425
Au total ...	558	1526.2	2445.5	1489
Si le témoin =	100	270	438	266
Si la simple dose =	36	100	160	97

Les tableaux et graphique ci-contre montrent de façon très nette l'influence de l'augmentation de la concentration du milieu de culture sur la croissance végétative.

Si l'on considère l'entièreté de la plante, les arbres recevant une fumure sont toujours supérieurs au témoin. Par rapport à ce dernier, la double dose accuse l'accroissement le plus fort et la simple dose l'accroissement le plus faible. Par rapport à la simple dose, la triple dose révèle un accroissement plus faible.

Si l'on considère séparément divers organes composant l'arbre, la supériorité de la double dose se maintient dans tous les cas alors que la triple dose reste le plus souvent inférieure à la simple dose, pour se rapprocher en plusieurs cas du témoin.

Il est intéressant de constater que l'augmentation de la concentration des milieux de culture ne se traduit pas par une augmentation continue de la croissance végétative. Il existe entre la simple et la triple dose un optimum qui ne coïncide d'ailleurs pas nécessairement avec la double dose. Nous avons obtenu des résultats similaires dans un autre essai, dont nous signalons simplement les résultats :

la simple dose 1422.5,

la double dose 1740.— (ou 122,3 en % de la simple dose),

la triple dose 1430.— (ou 100,5 en % de la simple dose).

Il semble donc bien que les fortes concentrations de fumure, tout en donnant des résultats supérieurs à ceux des témoins, freine en quelque sorte la croissance végétative.

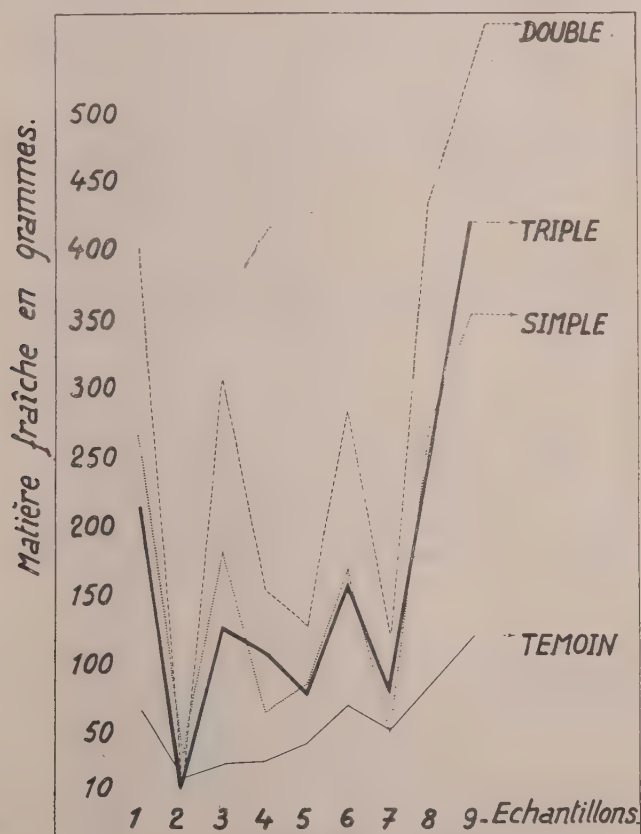
B) INFLUENCE DU MILIEU DE CULTURE SUR L'ABSORPTION ET LA DESTINATION DES ELEMENTS MINERAUX

Du point de vue statique, les questions suivantes se posent :

Quelle est l'influence de l'augmentation de la concentration du milieu de culture sur :

- l'absorption des éléments minéraux par la plante;
- la destination des éléments absorbés dans la plante ?

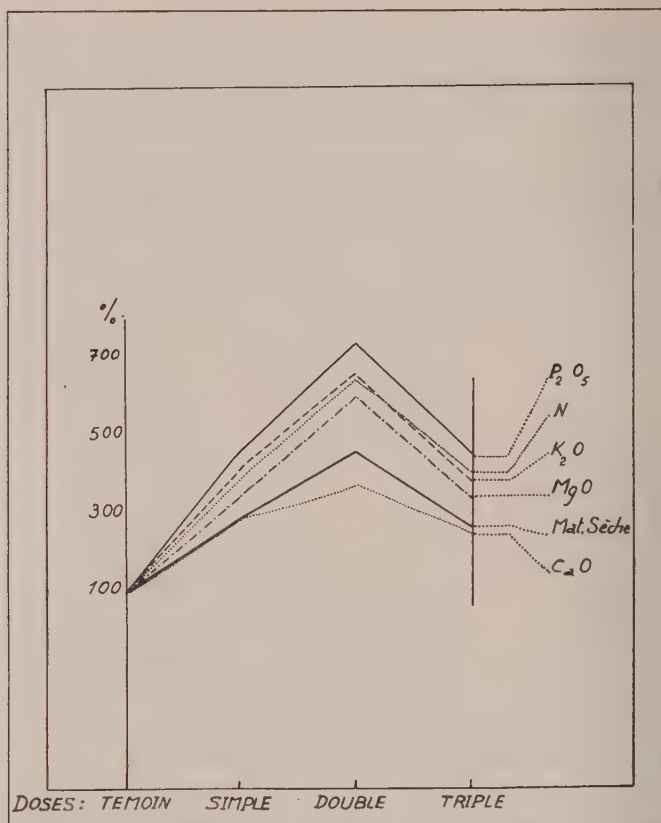
Diverses hypothèses peuvent être posées : en effet, la composition chimique de la plante peut être ou non le reflet de la croissance végétative. Ceci est très important pour l'interprétation des résultats, et notamment pour l'application des théories du diagnostic foliaire au pommier.



Graphique 2.

Variation de la matière fraîche des différents organes en fonction de la concentration des solutions nutritives.

N.B. Les chiffres 1 à 9 désignent divers organes de la plante. Cf. § Echantillonnage, p. 28.



Graphique 3.
Influence du milieu de culture sur l'absorption des éléments minéraux par la plante entière. Chiffres exprimés en % du témoin.

TABLEAU 3.

Influence de la concentration du milieu de culture sur l'absorption des éléments par plante entière.

1° En % du témoin.

Doses	témoin	simple	double	triple
Matière sèche (rappel)	100	290	460	270
Azote	100	390	650	410
P_2O_5	100	460	740	450
K_2O	100	420	660	390
CaO	100	290	383	253
MgO	100	350	600	350

2º En % de la simple dose.

Doses	témoin	simple	double	triple
Matière sèche (rappel)	0.30	100	160	90
Azote	0.25	100	172	103
P ₂ O ₅	0.22	100	162	99
K ₂ O	0.40	100	158	94
CaO	0.35	100	132	87
MgO	0.28	100	171	100

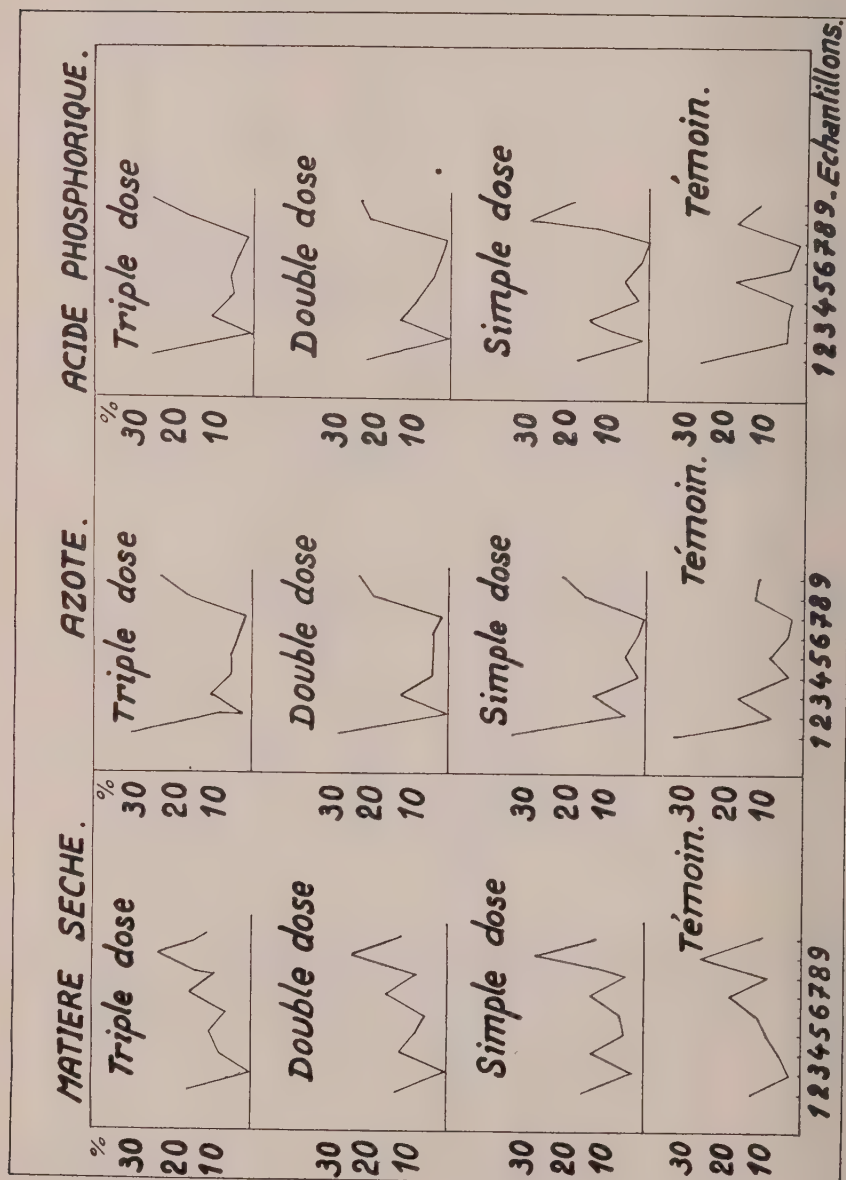
Si l'on considère donc l'évolution absolue des composants minéraux de la plante, on peut constater que celle-ci suit d'assez près les variations dans la croissance. Toutefois, si même dans l'ensemble la masse des éléments absorbés suit la croissance végétative, la composition des cendres peut varier dans un sens différent.

C) INFLUENCE DE LA CONCENTRATION DU MILIEU DE CULTURE SUR LA DESTINATION DES ELEMENTS DANS LES DIVERS ORGANES

(Quantités exprimées en % de chaque objet)

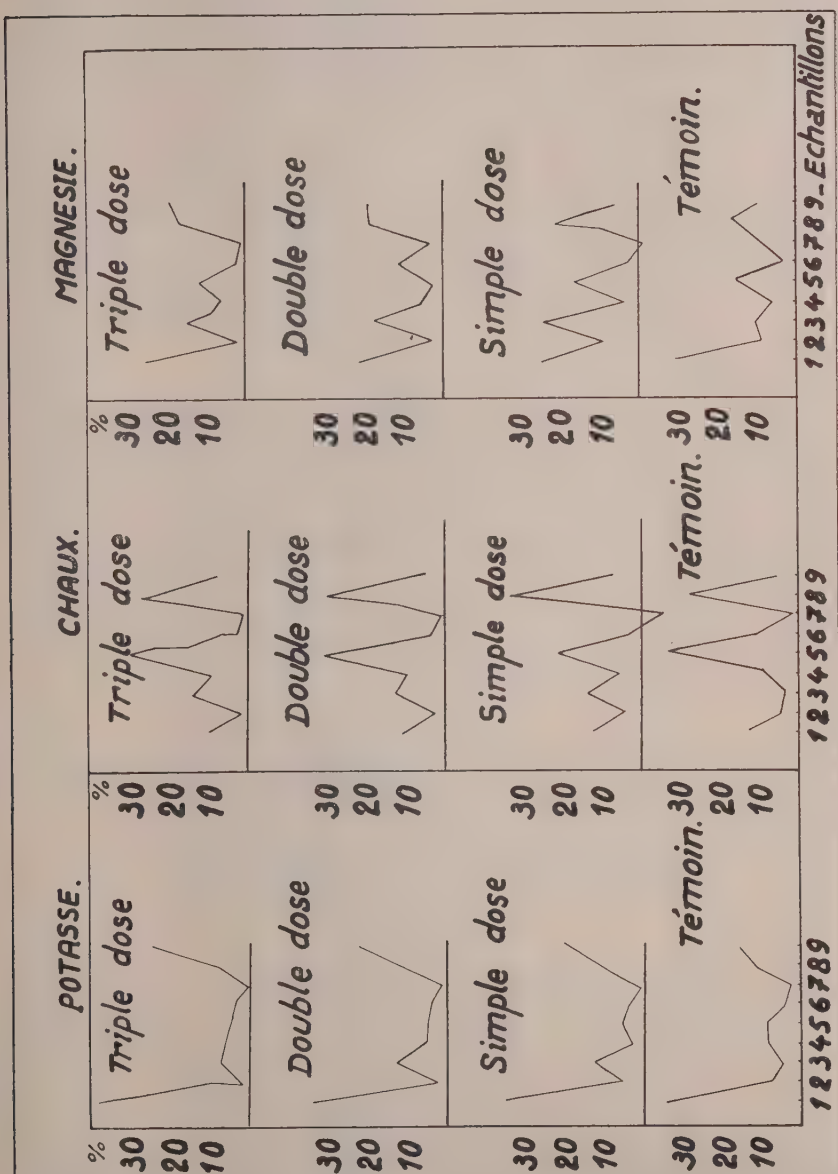
TABLEAU 4.

[illegible]



Graphiques 4.

Influence de la concentration du milieu de culture sur la destination des éléments dans les divers organes.
 N.B. Les chiffres 1 à 9 désignent divers organes de la plante. Cf. § Echantillonnage. 1, Jeunes feuilles; 2, Feuilles
 diverses; 3, Bois d'un an; 4, Bois divers; 5, Fosse; 6, Fosse; 7, Fosse; 8, Fosse; 9, Fosse.



Graphiques 4. (suite).

	CaO				MgO			
	témoin	simple	double	triple	témoin	simple	double	triple
1.	12.7	11.8	10.7	9.9	31.2	25	21.5	25.0
2.	4.5	3.9	1.8	1.5	9.4	8	2.6	2.7
3.	2.9	13.1	11.9	13.2	9.4	24.1	17.1	15.2
4.	8.2	5.1	9.6	9.4	6.3	3.6	5.2	6.3
5.	33.1	24.9	30.7	29.5	15.6	10.7	3.6	11.6
6.	5.7	1.8	2.5	2.3	3.1	2.7	9.9	2.7
7.	1.6	0.6	1.1	1	—	0.9	3.1	1.8
8.	27.3	32.7	27.4	26.3	15.6	19.6	18.2	16
9.	4.0	6.1	4.3	6.9	9.4	5.4	12.2	18.7
	100	100	100	100	100	100	100	100

Les nombres ci-dessus expriment donc la destination en % de chaque « objet » absorbé (P_2O_5 , K_2O).

L'influence de la concentration des solutions nutritives ne se marque pas de façon régulière sur la destination des éléments. De très fortes variations peuvent être enregistrées sans que l'on puisse établir une relation quelconque avec les doses.

La transposition de ces nombres en graphiques (graphiques 4) souligne par contre de façon remarquable les différences de destination suivant les éléments.

L'importance de l'azote est particulièrement remarquable dans les feuilles des pousses de l'année et dans les jeunes racines. Il en est de même pour le phosphore et pour la potasse.

La chaux s'accumule dans l'écorce, les vieilles racines, le bois de l'année.

Le magnésium se retrouve en quantités plus importantes dans les vieilles racines, les feuilles, le bois de l'année et l'écorce.

D) INFLUENCE DE LA CONCENTRATION DU MILIEU SUR LA COMPOSITION DE LA MATIÈRE SÈCHE

TABLEAU 5.

Pour la plante entière, en % de la matière sèche :

	témoin	simple	double	triple dose
Matière sèche (en g)	220.5	637.2	1018.9	586.4
N	0.925	1.255	1.310	1.454
P_2O_5	0.317	0.500	0.506	0.537
K_2O	1.088	1.410	1.542	1.604
CaO	1.156	1.114	0.921	1.055
MgO	0.145	0.175	0.188	0.190

Si la masse totale des cendres suit les variations de croissance, sa composition semble être influencée directement par le milieu de culture. C'est ainsi que dans le cas présent, la croissance est maxima pour la double dose, mais la matière sèche s'enrichit plutôt parallèlement à la concentration du milieu, exception faite pour le constituant calcium, qui est inversement proportionnel aux doses.

Cette constatation est également importante pour l'interprétation des résultats d'analyse.

On peut résumer ce qui précède comme suit : la croissance végétative est proportionnelle à la concentration du milieu jusqu'à un optimum, puis devient inversement proportionnelle aux doses. Dans les limites de l'essai considéré, la M.S. s'enrichit en éléments minéraux proportionnellement aux doses, exception faite pour le calcium, lequel est inversement proportionnel aux accroissements végétatifs.

TABLEAU 6.

En transposant ces chiffres par rapport à l'azote rendu =1, la relation entre les divers éléments apparaît nettement.

	Azote	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Témoin	1	0.34	1.18	1.20	0.16
Simple dose	1	0.40	1.25	0.89	0.14
Double dose	1	0.39	1.18	0.70	0.14
Triple dose	1	0.38	1.14	0.75	0.13

TABLEAU 7.

L'influence de la concentration du milieu se marque différemment lorsque l'on calcule la somme de certains éléments.

Éléments exprimés en milliéquivalents par 100 g de matière sèche (ces éléments sont : P₂O₅, SO₃, Cl, K₂O, CaO, MgO, Na₂O, Fe₂O₃).

	SO ₃ + Cl	Anions	Cathions	Am	Agl
Témoin	25.9	35.6	29	30.2	24.6
Simple dose	25.9	36.9	29	30.2	24.2
Double dose	25.8	37	28.8	30.5	23.8
Triple dose	25.8	37.2	29.4	31	23.9

N.B. Am signifie : somme des anions et des cathions, azote exclu.

Agl signifie : somme de tous les éléments.

Alors que la somme : SO₃ + Cl semble être constante, la somme des anions s'élève régulièrement du témoin à la triple dose. Les autres sommes n'accusent pas des variations importantes, et les différences ne sont guère significatives.

En résumé : l'influence de la concentration des solutions nutritives se marque nettement lorsque l'on détermine la composition moyenne de la plante. La composition des cendres semble suivre plutôt les concentrations des solutions nutritives que le rythme de croissance. *La détermination de la richesse moyenne des cendres n'est donc pas un indice précis de la croissance du végétal.* Les rapports entre divers éléments du tableau 6 se modifient en fonction des doses.

TABLEAU 8.

Influence de la concentration des solutions nutritives sur la composition des divers organes

Les éléments sont exprimés en oxydes % de la matière sèche. Le tableau donne également à titre indicatif le poids réel de matière sèche des différents organes.

Echantillons n°	Matière sèche	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
TEMOIN.						
1	39.57	2.488	0.684	3.104	1.114	0.368
2	38.61	2.502	0.632	2.695	1.645	0.434
3	33.64	0.948	0.402	1.202	1.544	0.307
4	51.97	0.421	0.191	1.149	1.080	0.088
5	45.93	0.765	0.624	0.936	3.772	0.239
6	54.52	0.203	0.084	0.244	0.344	0.033
7	29.96	0.321	0.098	0.376	0.241	0.025
8	59.54	0.420	0.239	0.535	1.220	0.091
9	17.40	1.034	0.410	1.642	0.458	0.146
SIMPLE DOSE.						
1	36.779	2.746	0.591	3.590	0.839	0.285
2	38.704	2.754	0.535	3.496	1.746	0.580
3	45.619	1.315	0.579	1.437	1.101	0.318
4	46.593	0.688	0.308	0.865	1.098	0.113
5	41.669	1.020	0.557	1.332	4.737	0.308
6	48.062	0.276	0.103	0.500	0.154	0.036
7	55.528	0.285	0.114	0.379	0.129	0.060
8	62.076	0.695	0.560	0.729	1.340	0.129
9	22.039	2.176	0.784	2.605	0.541	0.260
DOUBLE DOSE.						
1	32.28	2.876	0.789	4.151	0.765	0.315
2	38.67	2.774	0.855	3.828	2.197	0.691
3	41.69	1.294	0.551	1.525	0.872	0.262
4	56.09	0.661	0.192	0.852	1.010	0.118
5	46.13	1.042	0.475	1.249	4.698	0.318
6	54.93	0.331	0.106	0.410	0.153	0.045
7	63.26	0.320	0.120	0.324	0.125	0.081
8	56.33	1.044	0.434	0.678	1.036	0.141
9	20.43	2.740	1.061	3.390	0.617	0.305
TRIPLE DOSE.						
1	39.91	2.980	0.919	4.239	0.698	0.323
2	41.12	2.808	0.824	4.054	1.416	0.413
3	38.77	1.601	0.676	1.329	1.622	0.330
4	52.29	0.745	0.358	0.938	0.984	0.121
5	44.65	1.205	0.528	1.268	4.887	0.340
6	54.48	0.327	0.151	0.458	0.159	0.033
7	63.08	0.413	0.143	0.244	0.122	0.085
8	54.48	0.972	0.374	0.586	1.174	0.126
9	15.24	2.971	1.261	3.655	0.663	0.327

L'influence des concentrations croissantes se marque avec le plus de régularité dans les feuilles récoltées sur les rameaux d'un an, peut-être parce que cet échantillon ne comporte que des feuilles très homogènes, et dans les jeunes racines. Il est à noter que les jeunes racines se trouvent en contact avec le milieu nutritif et que c'est là que se font les échanges ioniques.

Nous constatons que d'autres organes ne présentent pas cette parfaite régularité.

Il est à remarquer que l'accroissement de richesse en divers éléments n'a pas été régulièrement suivi par l'accroissement de la masse végétale.

La plus grande richesse des tissus analysés ne correspond pas au plus grand développement de la plante. C'est là une constatation importante dont il faut tenir compte pour l'interprétation des résultats.

Les résultats de l'analyse de la plante entière sont donc identiques avec ceux que fournissent certains organes, mais en opposition avec d'autres organes.

E) IMPORTANCE DES ELEMENTS PAR RAPPORT A L'AZOTE (N = 1).

(Ces chiffres ont été obtenus en calculant le poids réel de chaque élément pour chaque organe, et en le rapportant ensuite à l'unité azote).

Echant. n°	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
TEMOIN						SIMPLE DOSE				
1	1	0.28	1.25	0.46	0.14	1	0.22	1.32	0.31	0.11
2	1	0.24	1.11	0.65	0.18	1	0.23	1.40	0.70	0.23
3	1	0.12	0.39	0.52	0.09	1	0.45	1.11	0.85	0.25
4	1	0.38	2.62	2.50	0.06	1	0.50	1.40	0.80	0.20
5	1	0.76	1.17	4.76	0.29	1	0.52	1.25	4.42	0.30
6	1	0.38	1.25	1.75	0.13	1	0.15	2.10	0.65	0.15
7	1	0.33	1.17	0.66		1	0.30	1.10	0.40	0.10
8	1	0.54	1.21	2.79	0.21	1	0.81	1.05	1.93	0.18
9	1	0.39	1.56	0.43	0.13	1	0.36	1.93	0.25	0.35
DOUBLE DOSE						TRIPLE DOSE				
1	1	0.27	1.45	0.27	0.11	1	0.31	1.45	0.23	0.11
2	1	0.33	1.38	0.81	0.24	1	0.28	1.50	0.50	0.17
3	1	0.42	1.18	0.67	0.20	1	0.42	0.83	1.01	0.21
4	1	0.84	1.31	1.55	0.17	1	0.48	1.27	1.32	0.16
5	1	0.46	1.22	4.57	0.30	1	0.44	1.07	4.07	0.29
6	1	0.33	1.25	0.46	0.13	1	0.44	1.38	0.48	0.10
7	1	0.40	1.04	0.40	0.24	1	0.32	0.59	0.27	0.09
8	1	0.42	0.65	1.00	0.14	1	0.38	0.60	1.22	0.13
9	1	0.56	1.81	1.85	0.16	1	0.42	1.23	0.52	0.11

Les rapports entre éléments sont différents dans les organes jeunes et adultes.

La chaux est, comme le montre le tableau ci-dessus, l'élément dont la concentration varie le plus suivant les organes. L'écorce est un organe particulièrement saturé par le calcium.

Pour les feuilles des rameaux d'un an, le phosphore semble suivre la rythme des doses. Le calcium réagit de façon opposée.

RESUME ET CONCLUSIONS

Le but de l'expérimentation est de rechercher l'influence de concentrations croissantes d'une même fumure sur la croissance et la composition minérale du pommier.

Dans la première partie, le problème est étudié d'un point de vue purement statique.

Des tableaux et graphiques présentés ci-dessus à titre d'exemple, on déduit que : 1° La triple dose de fumure a, sur la croissance de la plante, une action freinante bien que les résultats obtenus soient toujours supérieurs à ceux du témoin.

2° Les doses simple et double, dans nos conditions d'expérimentation, se trouvent dans les limites où les fumures ont une influence sensible sur la croissance et sur l'accumulation des sels.

3° L'accumulation des ions, dans le cas de la triple dose de fumure, ne se fait pas proportionnellement à la fumure.

(Octobre 1952).

BIBLIOGRAPHIE

- BOYNTON D. COMPTON O. C. 1945, Leaf analysis in estimating the potassium, magnesium and nitrogen needs of fruits trees. *Soil Sci.* 59, p. 339.
- GIULIANO RONZONI. 1949. Stato attuale delle ricerche col metodo del diagnostico fogliare per la determinazione della esigenza nutritive degli alberi. *Rivista di Frutticoltura* v. 11 n° 4, p. 188.
- GOODHALL D. W. 1943. Studies in the diagnosis of mineral deficiency I. The distribution of certain cations in apple foliage in early autumn. *Jour. of Pom. and Hort. Sci.* 20, p. 137.
- HOMES M., ANSIAUX J. 1949. L'aquiculture. Ses bases scientifiques. Ministère des Colonies, Bruxelles.
- HOMES M. 1949. I.N.E.A.C. L'alimentation minérale du palmier à l'huile.
- LAGATU H. et MAUME L. 1926. Diagnostic de l'alimentation d'un végétal par l'évolution chimique d'une feuille convenablement choisie. *C.R. Ac. des Sciences*, T. 182, p. 653.
1930. Evolution chimique comparée des feuilles de la vigne prélevées à des hauteurs différentes sur les rameaux. *C.R. Ac. des Sciences*, T. 190, p. 1137.

- LIWERANT M. J. 1946. Contribution à l'étude de la nutrition du pêcher. *C.R. Ac. Agr. de France*, n° 18, p. 820.
- LUNDEGARTH H. 1951. Die Blattanalyse. Hilger et Watts L.T.D., Londres.
- REUTHER W. and BOYNTON D. 1939. Variations in the potassium content of the foliage from certain New-York orchards. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 37, p. 32.
- THOMAS W. 1937. Foliar diagnosis. Principles and practice. *Plant Physiology* V. 12 n° 3, p. 571.
- THOMAS W. 1945. Present Statuts of diagnosis of mineral requirement of plants by means of leaf analysis. *Soil Sci.* V. 59, n° 5, p. 353.
- THOMAS W. and MACK W. B. 1949. Misconception to the method of Foliar Diagnosis. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* vol. 44, p. 355.
- VINET E. 1932. Le diagnostic ligneux de la vigne dans ses rapports avec la production. *Le prog. agr. et vit.* n° 42, p. 374.
- DEMORTIER C. et TRZCINSKI T. 1947-1948. Examen des méthodes d'analyses appliquées à la recherche des besoins alimentaires des arbres fruitiers. Centres de Recherches de la Ligue Pomologique. Rapport Gén. p. 11.
- Official and Tentative Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, 6. ed. 1945 Washington. 4 D.C.
- I.R.S.I.A. Comptes rendus de Recherches. Travaux du Centre d'Etudes et de Recherches sur l'Aquiculture. 1950.
- Centre de Recherches de la Ligue Pomologique pour la défense du Fruit Belge (I.R.S.I.A.) Rapport Général pour les années 1947 et 1948. Publié par G. Simon, Huy, Belgique.
- Centre de Recherches de la Ligue Pomologique pour la défense du Fruit Belge (I.R.S.I.A.) Rapport Général sur les travaux effectués pendant les années 1949-1950.
-

CHAIRES DE PEDOLOGIE ET DE BIOMETRIE

Les sols forestiers de l'Ardenne

LE PLATEAU DE SAINT HUBERT-NASSOGNE (PREMIERE ETUDE)

(Travail subsidié par le Fonds National de la Recherche Scientifique.)

PLAN DE TRAVAIL

Première partie — Etude pédologique

par

G. MANIL, E. COLLIN, R. EVRARD, R. GRUBER

- A. But et justification du travail.
- B. Choix des objets d'études. Descriptions générales.
- C. Date et mode d'échantillonnage. Description pédologique des objets.
- D. Analyses effectuées.
- E. Résultats, commentaires écologiques et conclusions particulières.
- F. Conclusions générales.

Deuxième partie — Etude biométrique

par

L. MARTIN, E. COLLIN, R. EVRARD, R. GRUBER

- A. Aperçu sur les méthodes biométriques en pédologie.
- B. Les différentes opérations effectuées.
- C. Conclusions.

ADDENDUM.

Tableaux des résultats d'analyses.
Tableaux biométriques.

PREMIERE PARTIE : ETUDE PEDOLOGIQUE

A. — BUT ET JUSTIFICATION DU TRAVAIL

Le but de ce travail présente en fait deux aspects différents, mais qui s'interpénètrent intimement :

Premièrement, acquérir une idée sur l'homogénéité du milieu édaphique dans des études de détail ou, en d'autres termes, connaître l'amplitude des variations sur une courte distance de quelques grandeurs pédologiques courantes. Dans la présente note ne sont relatés que les résultats d'un premier groupe de déterminations chimiques et physico-chimiques. Comme la plupart des résultats observés sont enfermés dans des limites fort étroites, il a été jugé nécessaire de faire appel à la critique statistique et biométrique (*) pour confirmer ou dégager les relations qui n'apparaissent pas avec certitude au premier coup d'œil.

Deuxièmement, un type pédologique étant choisi par la nature de l'association végétale correspondante, examiner la possibilité de le décrire d'une manière sélective par comparaison avec d'autres types, à l'aide du groupe de déterminations dont il sera question.

Justification de cette étude.

L'intérêt de cette recherche résulte de la difficulté dans laquelle nous nous sommes trouvés de caractériser certains milieux édaphiques de l'Ardenne par des déterminations de laboratoire, alors qu'il était aisé de suivre l'évolution de la flore et de plusieurs caractères morphologiques (structure, horizons humifères... etc.) en passant d'un type pédologique à l'autre.

La présente étude prend ainsi la forme d'une enquête préliminaire, parfois fastidieuse mais nécessaire, destinée à précéder d'autres recherches plus approfondies sur les sols forestiers du plateau de l'Ardenne qui se caractérisent par une *constance relativement très grande des facteurs géologiques et climatiques*.

B. — CHOIX DES OBJETS D'ETUDES. DESCRIPTIONS GENERALES

Nous avons fixé quatre stations situées à peu de distance l'une de l'autre dans un même complexe forestier situé dans le domaine de Saint Michel sur le plateau de Saint Hubert, en nous basant sur les données de la carte phytosociologique, en notant que les associations végétales reconnues semblent correspondre à différentes classes de productivité ligneuse (**).

(*) Nous remercions notre collègue le Professeur TEGHEM d'avoir bien voulu nous apporter un complément d'information.

(**) Levés phytosociologiques exécutés dans le cadre des travaux du Comité pour l'Etablissement de la Carte des Sols et de la Végétation de la Belgique (I.R.S.I.A.) sous la direction de Monsieur le Professeur A. NOIRFALISE.

Les données historiques nous apprennent que le massif forestier de Saint-Michel fut toujours relativement épargné par l'homme.

Il est cependant intéressant de signaler que la Station n^o III se trouve contrairement aux autres sur une série qui fut exploitée très intensivement pour les besoins de l'industrie métallurgique locale (*).

Les caractères suivants sont communs aux quatre stations :

a) *Nature de la Roche-mère géologique* : quartzites, phyllades et grauweekes du Siegenien moyen. Il s'agit en fait de roches très pauvres en calcaire originellement ou ayant été fortement décalcifiées en surface depuis une longue période pédologique, et très largement recouverte d'un manteau limoneux dont une partie des éléments semble d'origine éolienne.

b) *Peuplement forestier* : les trois premières stations sont situées sous futaies de hêtre avec mélange local d'autres essences. Par contre, la quatrième station correspond à une petite lentille d'épicéas plantée il y a 60 ans à l'intérieur et aux abords d'une petite fangette et entourée de toute part par la futaie de hêtre.

c) *Végétation naturelle* : les quatre stations sont situées dans l'étage du hêtre, mais correspondant à des associations végétales différentes (1).

c) *Conditions climatologiques générales.*

Le domaine de Saint Michel fait partie des plateau élevés de la Haute Ardenne. Les indications ci-après (période de référence 1901 à 1930) ont été déduites par l'interpolation, faute de sources plus précises (2).

- Température moyenne annuelle : 7°.
- Température moyenne de janvier : voisine de 0°.
- Température moyenne de juillet : voisine de 15°.
- Précipitations : 1.200 mm. avec fortes pluies d'été.

Par contre, les stations possèdent en propre les caractères suivants :

STATION I.

- *Topographie* : Sur le flanc d'exposition N. du Ry des Rabanys.
Altitude : 375 m. - Pente : 30 %.

(*) Renseignements fournis par M. V. TONNARD, Ingénieur Agronome des Eaux et Forêts et d'après une enquête historique rapportée dans son mémoire de fin d'études (1953).

En l'occurrence, il s'agit d'une exploitation nécessitée pour les besoins des fonderies d'acier établies par Don Spirlet (fin XVIII^e siècle) dont les installations industrielles ont été conservées jusqu'à nos jours à l'endroit dénommé Fourneau Saint-Michel.

(1) Les relevés phytosociologiques reproduits en annexe ont été effectués par J. CALEMBERT. — Addendum : tabl. I.

(2) PONCELET, L., et MARTIN, H. (1947), Esquisses climatologiques de la Belgique. Inst. Roy. Météorologique de Belgique, Mém., vol. XXVII, Cartes des pages 184, 187, 199, 234, 235.

- *Géologie* : Schistes et phyllades du Siegenien moyen dont les produits d'altération sont mélangés avec des éléments limoneux d'apport éolien.
- *Phytosociologie* : Hêtraie à fétuque de pente (*).
- *Facies forestier* : Futaie de hêtres d'aspect jardiné, plutôt claire, car les bois moyens sont peu représentés. Quelques pieds d'érable sycomore. Localement, recrû assez abondant mais limité toutefois par le gibier. Croissance et état sanitaire excellent.

STATION II.

- *Topographie* : Plateau en faible pente vers l'Ouest. Altitude : 420 m.
- *Géologie* : Schistes et phyllades du Siegenien moyen avec quelques fragments de quartzites dans le manteau meuble. La roche en place n'est pas atteinte. Les produits d'altération du substrat primaire sont mélangés avec un limon brun pâle d'origine éolienne, comme dans le cas précédent.
- *Phytosociologie* : Hêtraie à fétuque de plateau, à *deschampsia Coespitosa* et *Casex/remota*.
- *Facies forestier* : Cette parcelle offre l'aspect d'une futaie jardinée fortement rajeunie, les gros bois ne dépassent pas 1,50 m de tour. Le chêne sessile s'associe au hêtre. Les arbres sont moins vigoureux. La régénération naturelle laisse à désirer sous l'influence du gibier. L'endroit examiné correspond à un très faible couvert.

STATION III.

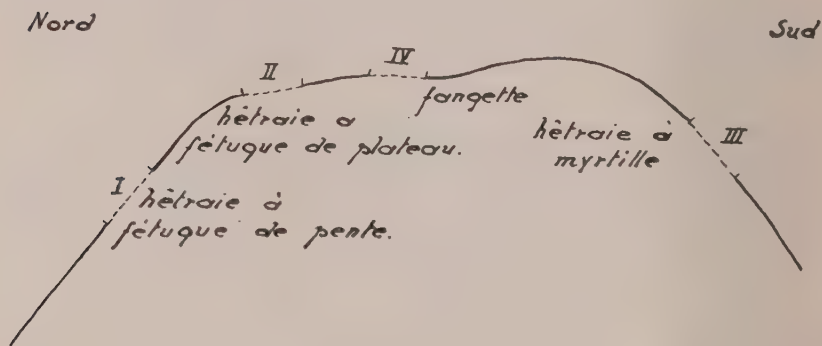
- *Topographie* : Flanc de vallée d'exposition S-E. Pente : 25 %. Altitude : 430 m.
- *Géologie* : Schistes et phyllades du Siegenien moyen en affleurement vers 0,60 m de profondeur. Le limon exogène présent dans les deux premières stations semble manquer.
- *Phytosociologie* : Hêtraie à myrtille succédant vraisemblablement à un taillis de Chêne-bouleau.
- *Facies forestier* : Les données historiques et l'aspect du peuplement indiquent un traitement antérieur en futaie sur taillis ou en taillis simple. Chênes sessiles assez nombreux. Fûts élevés à croissance déprimée.

(*) Les noms des associations végétales reproduits dans la présente note ont été très obligeamment déterminés par le professeur A. NOIRFALISE.

STATION IV.

- *Topographie* : Situation en plateau sur les bords d'une petite fangette dont la dépression se lit à peine dans la topographie. Altitude : 525 m.
- *Géologie* : Quartzites du Siegenien inférieur fortement altérés par désilicification et recouverts d'un manteau de limon très peu caillouteux d'origine éolienne.
- *Phytosociologie et facies forestier* : Bouquet d'épicéas âgés de 60 ans au milieu d'une vieille futaie de hêtres associée au chêne et dont la flore naturelle s'apparente à la Chênaie pédonculée à *Luzula maxima* et *Molinia caerulea*.

Topographiquement les quatre stations se répartissent donc suivant les indications du schéma suivant en notant cependant qu'elles ne se situent pas en fait sur un même plan.



C. — DATES ET MODE D'ECHANTILLONNAGE.

DESCRIPTION PEDOLOGIQUE DETAILLEE DES STATIONS

a) *Date.*

Pour des études de détail, la date de prélèvement n'est pas sans importance.

Il est bien connu que certaines valeurs comme le pH peuvent subir des fluctuations saisonnières de faible amplitude mais de nature toutefois à exercer une influence non négligeable dont il faut tenir compte.

Tous les prélèvements ont été effectués le 15 octobre 1951, c'est-à-dire à la fin de la période de végétation mais avant la chute des feuilles, lors d'une période de stabilisation relative des propriétés édaphiques les plus labiles.

b) Mode d'échantillonnage.

Le mode d'échantillonnage doit être fonction du but poursuivi. Dans le cadre de cette étude nous nous sommes bornés à prélever les échantillons dans les horizons superficiels jusqu'à la profondeur de 40-50 cm correspondant au maximum de l'épanouissement radiculaire en tenant compte des particularités morphologiques les plus aptes à décrire l'état d'évolution.

Comme les horizons holorganiques n'étaient pas présents dans toutes les stations, ces derniers n'ont pas été prélevés.

Plus particulièrement :

— Dans la première station (hêtraie à fétuque de pente), il s'agit morphologiquement d'un sol brun forestier peu développé (*) à drainage normal, avec apparence locale d'un horizon (B) argileux à faible développement structural. Teneur en cailloux élevée dans tous les horizons. Absence de A°.

Les horizons suivants ont été recueillis :

H₁ : partie supérieure de l'horizon A¹ grumeleux.

H₂ : partie inférieure de cet horizon à teinte humifère moins marquée.

H₃ : partie supérieure de l'horizon A² au sein duquel d'abondantes infiltrations humifères se laissent observer.

H₄ : partie inférieure du A² avec infiltrations humifères rares, reposant sur un horizon très caillouteux de grauwares faiblement altérées à la profondeur moyenne de 40-50 cm. Nous n'avons pas échantillonné séparément les horizons à structure polyédrique faiblement marquée, à limites très indécises, perçus par endroits à la base du A².

— Dans la station II (hêtraie à fétuque de plateau), nous avons observé un profil de sol brun forestier très faiblement développé, à drainage assez lent (teinte pâle) et portant trace en surface d'un « micro-gley » se cantonnant dans l'horizon A¹. Cette altération superficielle est générale dans ce type de sol sur plateau lorsque le couvert devient trop peu dense comme c'est le cas à l'endroit choisi. Caillouteux dans tous les horizons.

Horizon A° mal délimité à cause de l'abondance de la flore herbacée.

Marmorisation et traces de gley visibles dans le bas à partir de 40-50 cm.

Vers la profondeur de 75 cm apparaît un horizon compact, peu perméable, panaché, que l'on tend actuellement à assimiler au « fragipan » des Américains (4).

(*) Le terme Sol brun forestier n'est pas la traduction du terme américain « *Brown forest Soil* ».

(4) Soil Survey Manual, 1951, U. S. Department of Agriculture, p. 243.

Les horizons suivants sont prélevés :

- H₁ : horizon A¹ de faible épaisseur avec taches éventuelles de micro-gley.
 H₃ : partie supérieure du A² à structure devenue compacte, parfois schistoïde par disparition de l'état grumeleux.
 H₄ : partie inférieure de l'horizon précédent au sein duquel une structure grossièrement grumeleuse faiblement manifestée s'est maintenue.

Les prélèvements atteignent une profondeur moyenne de 40 cm, correspondant à la couche exploitée par la majeure partie des racines.

Dans la Station III (hêtraie à myrtille), nous observons généralement un A^o net, épais de 4-5 cm. Le profil est du type sol brun podzolique (Brown Podzolic de la classification américaine) avec minces horizons de podzol en surface, nettement visibles par places. Drainage normal.

H₁ : A¹ noir, mince.

H₂ : frange violacée inférieure du A¹ avec localement le A² du podzol superficiel.

b : horizon B du podzol superficiel, quand il se laisse distinguer.

H₃ : partie supérieure du A₂ de teinte brun orangé (B ferrique du Brown Podzolic).

H₄ : partie inférieure du A² de teinte moins accusée.

Sous le H₄, horizon très caillouteux de phyllades peu altérés.

- *Dans la Station IV*, aux abords de la fangette, nous observons une morphologie très irrégulière allant depuis l'état bien oxydé des horizons superficiels jusqu'à la réduction très accusée (argile blanche). La caractéristique la plus générale est la présence d'une épaisse couche de A^o composée d'aiguilles de résineux mélangées à des feuilles de hêtre apportées latéralement par le vent.

H₁ et H₂ : appartiennent aux horizons humifères.

H₃ et H₄ : aux horizons minéraux, avec morphologie particulière, en fait, à chaque profil, allant du gley-podzol tourbeux au podzol et du sol brun plus ou moins podzolique.

c) *Nombre d'échantillons et disposition des points de prélèvements en vue de l'analyse statistique.*

Pour chacune des stations, une aire de 2 ares environ a été délimitée par un cercle sur les aires planes, par une ellipse allongée selon la ligne de plus grande pente sur les aires déclives.

A l'intérieur de ces figures ont été creusés, tout d'abord, un profil de référence jusqu'à la profondeur de 1.25 m au moins, puis à distance plus ou moins régulière, neuf profils de répétition.

Une difficulté est apparue sur le fait de savoir si le nombre d'échantillons devait demeurer le même pour chaque profil ou s'il fallait s'en rapporter aux données de l'observation qui amenaient à

grouper deux ou plusieurs horizons en un seul quand les prélèvements séparés apparaissent comme très peu possibles. Pour des raisons d'objectivité nous nous en sommes tenus à la seconde solution.

Le tableau n° 2 en addendum donne la répartition des épaisseurs et des profondeurs atteintes estimées ou mesurées sur trois faces de chaque profil, pour tous les horizons échantillonnés.

L'inspection de ce tableau montre que l'épaisseur des horizons est loin d'être régulière.

D. — ANALYSES EFFECTUEES

Comme il a déjà été signalé, le nombre des analyses effectuées est limité à quelques analyses courantes.

a) *Analyses granulométriques* (*) effectuées par la méthode à la pipette de Robinson.

b) *Analyses concernant l'acidité* :

1. pH H₂O (20 gr. dans 50 cc. liqueur).
2. pH KCl N (id.).
3. pH CaAc² N à pH 7 (id.).
4. Hydrogène échangeable par la méthode de Mehlich au BaCl² tamponné par la tri-éthanolamine à pH 8,1 (5).

c) *Analyses concernant la matière organique* :

1. Carbone « total » par la méthode au bichromate de Walkley Black.
2. Azote « total » par Kjeldhal - Rapport C/N.
3. Humus peptisable par le fluorure de soude et précipitable par les acides (6) par la méthode Simon avec la mise au point de Laudelout et D'Hoore.

d) *Analyses diverses* :

1. Capacité totale de sorption et pour certains échantillons, capacité minérale de sorption, par percolation à l'acétate de baryum (7).
2. Recherche qualitative des nitrates à l'aide de la diphenylamine.

Toutes les déterminations ont été effectuées en double.

(*) En collaboration avec le Centre de Recherches Pédologique de Gembloux (I.R.S.I.A.)

(5) MEHLICH, A., (1948), Determination of cation- and anion exchange properties of soils, *Soil Science*, vol. 66, p. 429.

(6) LAUDELOUT, H., et D'HOORE, J., (1949), Influence du milieu sur les matières humiques, *Publ. I.N.E.A.C., Série Scient.* n° 44.

(7) DE LEENHEER, L., (1948), *Bull. Soc. Belge Géol.*, LVII, 2, p. 299.

E. — RESULTATS ET COMMENTAIRES

Remarque préliminaire :

Les tableaux analytiques d'ensemble sont reportés en addendum. Dans le présent chapitre figurent des tableaux synthétiques donnant les moyennes arithmétiques pour tous les horizons homologues par station et les deux résultats extrêmes par station.

I. ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Dans le cadre du présent travail, l'analyse granulométrique avait pour but de constater si les stations pouvaient rentrer dans des classes texturales proches l'une de l'autre.

Le pourcentage de cailloux déterminé sur échantillons de 5 kg. oscille en moyenne autour de 40 % pour les deux premières stations, de 50 % pour la troisième et de 10 % pour la quatrième station.

A ce point de vue, les trois premières stations sont donc comparables entre elles.

Les tableaux suivants donnent respectivement le pourcentage d'argile dans la terre fine exprimée en particules inférieures à 2 μ et inférieures à 10 μ .

D'une manière générale, la station III apparaît plus argileuse. Il est intéressant d'observer que c'est la plus dégradée des stations à futaie de hêtres. *Le caractère lithologique ne pourra donc être invoqué pour expliquer la tendance podzolique décrite.*

0 — 2 μ

terre fine séchée à l'air.

Hori- zons	STATION I	STATION II	STATION III	STATION IV
1				
2	30.84 23.34 18.23		30.69 25.62 22.91	26.68 22.2 16.47
b				
3	23.40 17.73 9.61	25.45 20.68 16.61	35.45 28.92 23.08	28.80 22.72 16.70
4	22.73 16.71 12.10	29.40 24.10 21.05	33.76 26.97 20.12	22.76 18.78 10.33

0 — 10 p. % terre fine séchée à l'air.

Hori- zons	STATION I	STATION II	STATION III	STATION IV
1				
2	44.51 39.81 33.00		56.05 49.89 46.83	43.93 41.00 36.75
b				
3	42.25 37.94 32.06	43.88 37.94 30.89	55.98 47.48 39.09	47.10 42.01 38.54
4	41.01 35.91 22.25	44.36 39.99 34.79	53.60 47.44 31.58	43.15 37.08 20.66

II. ANALYSE CONCERNANT L'ACIDITE

Les déterminations les plus courantes, lorsqu'on examine l'évolution d'un sol forestier, concernent généralement le facteur « acidité ». Car il est bien connu que toutes modifications défavorables du comportement biologique et forestier d'un sol de nos régions tempérées se traduit presque toujours par un changement dans l'économie en ions H du substrat édaphique.

De nombreux auteurs comme HENRY, NEMEC TRLOG, CLARKE, GAARDE, KAPPEN, POTAPOV, ROMMELL, WILDE, OLSEN, DOGLE, HESSELMAN, DUCHAUFOR, PURI, PEARSALL, etc., ont apporté une importante contribution à l'étude de la signification écologique de l'acidité dont il reste cependant toujours difficile de dissocier les effets directs des effets indirects.

Si on se rappelle qu'il existe un gradient négatif de concentration en ions H depuis la partie la plus interne du nuage ionique des particules colloïdales jusqu'au sein de la solution intermicellaire, il est difficile de préciser quelle est la concentration en ions H du milieu dans lequel plongent effectivement les racines et quelle est l'action immédiate sur le comportement radiculaire.

Les effets indirects concernent, tout d'abord, la teneur en électrolytes ou leur état de mobilisation. Un pH bas est le reflet d'une faible garniture ionique (cations) et d'une fixation énergique d'anions comme PO_4 . Ils concernent également la présence possible d'ions Al et Mn dont le seuil de toxicité varie avec les espèces végétales.

L'influence sur la composition de la flore et l'activité de la microflore et de la faune du sol a été mise en évidence dans de très nombreux travaux, encore qu'il faille accueillir avec réserve les valeurs de pH signalées comme devant constituer des seuils biologiques, pour les appliquer dans des conditions autres que celles de l'expérimentation ou de l'observation.

Toute modification dans l'activité biologique a sa répercussion également sur le comportement physico-chimique du sol et sur les propriétés physiques en relation avec la structure.

La susceptibilité des végétaux aux maladies et aux attaques parasitaires dépend également pour une certaine part de la concentration du milieu en ion H.

La pratique courante dispose de plusieurs moyens d'expression du facteur « acidité » parmi lesquels nous allons examiner :

- a) Des modes d'expression potentiométrique donnés par les :
 - 1) pH dans l'eau;
 - 2) pH dans KCl normal;
 - 3) pH dans l'acétate de calcium normal à pH 7 initial.
- b) Un mode d'expression titrimétrique : l'hydrogène échangeable MEHLICH.

1) Le pH Eau.

Cette détermination extrêmement familière et dont l'utilité est réelle (8) laisse encore subsister certains doutes quant à sa signification réelle tant au point de vue de l'origine immédiate des ions H mis en cause qu'au point de vue de son importance écologique.

Il est clair que les activités biologiques constituent la source prochaine ou lointaine de la presque totalité des ions H présents dans le sol à l'état dissocié ou non.

Les ions hydrogènes dont les 3 formes de pH étudiées sont des expressions peuvent provenir :

- soit d'activités d'échanges à la surface des particules colloïdales;
- soit de la dissociation électrolytique des petites et grosses molécules organiques porteuses de groupements acides;
- soit de la dissociation ionique des molécules d'eau en coordination 6 captés par les ions Al qui sont libérés en conditions très-acides comme c'est le cas dans les sols forestiers étudiés. (9)

On peut dire avec une certaine approximation que le pH H₂O qui constitue une expression de l'acidité « actuelle » est surtout sous la dépendance des ions H fixés d'une manière échangeable sur les colloïdes et en partie, des ions ionisés au départ de molécules organiques.

Rappelons que la date de prélèvement des échantillons a été choisie de manière à minimiser l'influence des facteurs provoquant les fluctuations saisonnières du pH H₂O (10).

(8) Voir par exemple : PEARSALL, W. H., 1952. The pH of natural soils and its ecological significance. *Journal of Soil Science*, vol. 3, n° 1, pp. 41 à 52.

(9) RUSSELL, J., 1950. Soil Conditions and Plant Growth, 8^e éd., Longmans, Green and C^o, London, New-York, pp. 93 et suivantes.

— SCHOFIELD, R. K., (1946). Factors influencing ionic exchange in soils. *Soils and fertilizers*, vol. 9, p. 265.

(10) Les auteurs sont généralement d'accord pour observer des pH relativement bas en fin de période de végétation avant la chute des feuilles. Voir : LUTZ, J. H. et CHANDLER, R. F., (1951). Forest Soils, 5^e éd., London, Chapman et Hill, Ltd.

Remarque préliminaire. — Bien qu'il soit admis que la détermination du pH n'ait de sens pratique qu'à 0,1 ou 0,2 unité près, dans le cadre de cette étude, nous avons maintenu les valeurs obtenues avec leurs deux décimales et considéré des variations à 0,1 unité pour les calculs statistiques.

Les déterminations ont été effectuées sur un seul échantillon avec triple lecture. Mais à titre de contrôle, 21 échantillons ont été analysés en double exemplaire. Tous les résultats en double diffèrent de moins de 0,15 unité sauf 1 qui atteint 0,19. La moyenne arithmétique de la variation est inférieure à 0,1 unité.

pH — H₂O

Horizons	STATION I	STATION II	STATION III	STATION IV
1	4.45 4.11 3.58	4.48	3.92 3.74 3.60	3.71 3.49 3.09
2	4.23 4.14 3.69	4.15 3.60	3.92 3.73 3.60	3.81 3.69 3.49
b			4.00 3.81 3.70	
3	4.42 4.29 4.10	4.64 4.27 4.02	4.60 4.32 3.98	4.39 4.15 3.92
4	4.51 4.36 4.20	4.52 4.37 4.21	4.53 4.43 4.31	4.52 4.42 4.25

CONCLUSIONS.

— a) *Comparaison interhorizons par station :*

L'augmentation des valeurs du pH vers le bas est générale, mais spécialement marquée pour les stations les plus dégradées et apparaît significativement pour les stations I, III et IV.

— b) *Comparaison interstations :*

1. — L'analyse statistique confirme la première impression que les stations I et II ne peuvent se distinguer significativement l'une de l'autre, mais bien les stations III et IV entr'elles pour les horizons supérieurs. Par contre, le groupe des deux premières stations se distinguent significativement des deux autres.

2. — Le pH devient sensiblement le même pour toutes les stations à partir de 0,30 cm en moyenne sous la surface et acquiert des valeurs de l'ordre de 4,40.

On peut se demander si ces valeurs en profondeur ne correspondent pas à une limite physico-chimique imposée par la stabilité des argiles

en conditions d'acidité naturelle et en l'absence de quantités importantes de matières organiques (11).

3. — De toute façon les quatre objets étudiés sont originellement très acides. On ne pourrait difficilement invoquer des différences notables dans la garniture ionique du complexe sorbant pour expliquer les divers comportements édaphiques des stations étudiées. (*)

2) pH dans KCl N.

L'acidité d'échange constitue une des formes les plus stables et les plus importantes du facteur écologique « acidité ».

Cette détermination met en évidence la qualité « d'acidoïde » du sol suivant les termes de PURI (12) et se trouve partiellement sous la dépendance du comportement des ions complexes que l'aluminium et le fer donnent en conditions de forte acidité (KAPPEN 13), (SCHOFIELD, R.K., op. cit. n° 10).

pH — KCl

Horizons	STATION I	STATION II	STATION III	STATION IV
1	3.60 3.46 3.19	3.67	3.20 3.06 3.00	3.10 2.93 2.80
2	3.60 3.46 3.21	3.47 3.26	3.22 3.10 3.01	3.27 3.13 2.95
b			4.29 3.29 3.10	
3	3.72 3.62 3.50	3.60 3.55 3.31	4.07 3.81 3.38	4.15 3.82 3.41
4	4.10 3.80 3.59	4.24 3.93 3.73	4.20 4.05 3.90	4.43 4.29 4.20

CONCLUSIONS.

— a) Comparaison interhorizons par station.

1. Dans toutes les stations la distinction entre horizons supérieurs et inférieurs est significativement renforcée par rapport à la précédente même pour la station II qui paraissait homogène avec le pH H₂O.

(11) RUSSELL, W. E. Soil Conditions and Plant Growth, op cit., n° 9, p. 97.

(*) Les teneurs en calcium échangeable sont très faibles et de l'ordre de 0.1 % dans toutes les stations.

(12) PURI, A. N., (1949). Soils. Their Physics and Chemistry. Reinhold Publishing Corp., New-York.

(13) KAPPEN, H., (1929). Die Bodenazidität, Julien Springer, Berlin, p. 121 et suivantes.

2. Cette détermination permet de distinguer l'un de l'autre les deux horizons inférieurs.

— b) *Comparaison entre stations.*

1. Les deux premières stations tendent à se confondre dans une même population. Elles se distinguent significativement des stations III et IV qui diffèrent d'ailleurs entr'elles.

2. Il est remarquable d'observer que les valeurs les plus faibles dans les horizons inférieurs appartiennent aux deux premières stations, contrairement à ce qui se produit dans les horizons supérieurs.

Il faut y voir la conséquence d'un mode différent de contact entre matière organique et substrat minéral dans les deux groupes de stations.

Cette tendance apparaît au premier coup d'œil sans toutefois qu'il y ait confirmation statistique, à cause, sans doute, du nombre trop peu élevé d'échantillons.

3) **pH dans l'Acétate neutre de Ca.**

L'acidité hydrolytique constitue en fait une expression de l'acidité totale (KAPPEN, op. cit., n° 13).

Elle se détermine généralement par titrage des liqueurs extraites avec acétate alcalin ou alcalino-terreux.

Nous avons voulu tester la signification que pouvait avoir la détermination du pH dans une solution N d'acétate neutre de calcium.

pH — CaAc

Hori- zons	STATION I	STATION II	STATION III	STATION IV
1	5.88 5.72 5.61	5.81	5.53 5.44 5.32	5.62 5.36 5.20
2	5.91 5.77 5.61	5.70 5.51	5.98 5.62 5.48	5.72 5.61 5.45
b			5.98 5.66 5.53	
3	6.03 5.94 5.82	6.09 5.96 5.89	6.09 5.94 5.71	6.01 5.86 5.70
4	6.25 6.14 6.00	6.30 6.15 6.00	6.30 6.17 5.94	6.22 6.13 6.06

CONCLUSIONS.

— a) *Comparaison interhorizons.*

Cette détermination est la seule qui puisse distinguer significativement tous les horizons entre eux et spécialement les H₃ des H₄. Il est normal d'ailleurs que cette expression de l'acidité indique des nuances non décelables par les autres formes de pH.

— b) *Comparaison interstations.*

1. Les horizons supérieurs des stations I et II demeurent en population homogène; il en est de même pour III et IV, mais les deux groupes de stations se distinguent l'un de l'autre.
2. Les horizons inférieurs de toutes les stations forment une même population.

CONCLUSIONS CONCERNANT LES 3 FORMES DE pH.

— a) *Comparaisons interhorizons par stations.*

C'est le pH dans l'acétate qui permet en général la meilleure discrimination entre horizons.

— b) *Comparaisons entre stations.*

Le pH KCl paraît être le meilleur diagnostic entre stations, du moins pour les horizons supérieurs, car il nécessite le plus petit nombre d'échantillons (voir partie biométrique).

Ces résultats sont en concordance logique avec la signification de ces formes de pH.

4) Hydrogène échangeable.

Cette détermination a pour but de nous donner une expression quantitative du facteur « acidité ».

La méthode MELICH à pH initial élevé (8,1) donne par définition des chiffres relativement forts puisqu'elle peut assurer un déplacement à peu près complet par le Ba des ions hydrogènes échangeables, isomorphiques et hydroxyliques dans des argiles illitiques comme celles dont se composent les sols étudiés (*) en considérant la fraction minérale des colloïdes du sol. Un pH élevé augmente également le nombre de groupements dissociables dans la matière organique (RUSSELL, op. cit., n° 9, page 117).

(*) D'après les déterminations aux rayons X par le laboratoire du Professeur DEKEYSER à Gand, dans le cadre des Travaux du Comité pour l'Etablissement de la Carte des Sols et de la Végétation de la Belgique (I.R.S.I.A.).

Le travail de MITRA et RAJAGOPALAN (14) confirme pratiquement la chose concernant les argiles illitiques. Les chiffres élevés permettent en général de mieux faire ressortir des différences entre stations.

D'autre part, dans les milieux à faible garniture ionique, cette détermination peut également être considérée comme une expression approximative de la *capacité totale d'échanges*.

Résultats exprimés m. é. q. pour 100 gr de terre.

Hydrogène échangeable

Horizons	STATION I	STATION II	STATION III	STATION IV
1	41.80 25.42 17.67	35.14	52.79 39.53 31.15	64.90 46.67 24.39
2	23.51 19.16 14.00	21.59 9.97	36.13 27.75 18.47	36.82 27.35 18.97
b			35.27 26.62 19.65	
3	15.79 11.78 8.20	11.27 7.44 1.76	20.86 14.65 10.64	25.21 20.62 15.15
4	13.13 9.11 5.55	9.04 7.35 4.03	13.19 9.51 1.17	16.10 11.89 9.03

CONCLUSIONS.

— a) *Comparaison entre horizons par station*

1. Dans toutes les stations, les horizons supérieurs se distinguent nettement des horizons inférieurs.
2. Sauf pour la station II, les deux horizons profonds se distinguent entre eux.

— b) *Comparaison entre stations*

1. Les stations I et II demeurent significativement un groupe homogène différents de III et IV.
2. La station IV paraît plus acide que III quoique les calculs statistiques n'aient pas mis en évidence l'existence de deux populations différentes.

En résumé, dans le cas présent, l'hydrogène échangeable possède un intéressant pouvoir discriminant.

(14) MITRA, R. P. et RAJAGOPALAN, R. S., (1952) : The electrochemical character of the clay mineral illite and its relation to that of muscovite, *Journal of Soil Science*, vol. ..., n° 1, pp. 34 à 41.

Relations hydrogène échangeable et les différentes formes d'acidité (par calcul statistique).

La détermination de l'hydrogène échangeable constitue une opération assez longue. Le but des présents calculs est de fixer s'il existe une relation linéaire entre cette valeur et les différentes formes de pH, de manière à substituer éventuellement l'une à l'autre.

De l'ensemble des résultats obtenus il apparaît qu'aucune relation ne peut être observée d'une manière indiscutable.

II. LA MATIERE ORGANIQUE

Dans le cadre du présent travail, l'étude de la matière organique se limitera aux points suivants :

- 1. Observations sur le rapport C/N.
- 2. Les relations C/N et pH.
- 3. Le rapport $\frac{\text{Humus peptisable}}{\text{Humus total}}$ %.
- 4. Etude des relations carbone-hydrogène échangeable (MEHLICH).
- 5. Etude complémentaire des relations humus peptisable-hydrogène échangeable.

OBSERVATIONS SUR LE RAPPORT C/N.

Les valeurs du rapport C/N sont très fréquemment utilisées lorsqu'on examine l'évolution biologique des sols. DUCHAUFOUR (15) entr'autres, a clairement montré que pour les sols forestiers, les valeurs les plus basses sont atteintes pour un ensemble de conditions écologiques favorables correspondant du point de vue chimique à une saturation en cations suffisante, mais non excessive.

Par acidification, C/N tend à s'accroître en raison du ralentissement de la minéralisation ; par alcalinisation au delà d'un certain seuil, les valeurs augmentent également par formation d'humates de calcium difficilement minéralisables.

Comme nous l'avons indiqué dans un travail précédent (16) ce rapport peut avoir une *signification dynamique* quand des apports réguliers de matières organiques fraîches maintiennent constamment une grande

(15) DUCHAUFOUR, Ph., (1950). Notes sur les types d'humus forestier et leur rapport carbone/azote (C/N). *Fourth International Congress of Soil Science*. Amsterdam, vol. 11, pp. 108-111.

(16) MANIL, G., (1953). Quelques observations et réflexions sur la biodynamique des sols en conditions équatoriales. *Bull. Inst. Agron. de Gembloux*, t. XXI, pp. 114 à 145.

activité d'humification et de minéralisation. Il devient *passif* lorsqu'il correspond à la mise en réserve dans le sol d'une certaine quantité de substances humiques résiduelles difficilement minéralisables, sans apport de nouvelles matières organiques en quantités appréciables.

Sous forêt, par exemple, des mêmes valeurs de C/N peuvent être observées d'une part sur des aires constamment balayées par le vent, n'accumulant pas de litière et sur des aires où se déposent au contraire un excès de matières organiques.

La précédente remarque nous est apparue nécessaire pour comprendre certaines fluctuations capricieuses des valeurs du rapport C/N. Toutefois, dans les considérations suivantes, nous considérons dans l'ensemble une signification dynamique, la litière se déposant assez régulièrement sur les surfaces étudiées.

Les points envisagés sont formulés comme suit :

— a) Dans le cadre de cette étude détaillée et vu l'hétérogénéité apparente du sol, existe-t-il une relation linéaire constante entre les valeurs du carbone et de l'azote ?

— b) Le rapport C/N constitue-t-il un bon diagnostic de station dans le cas présent ?

— c) Peut-on formuler certaines lois de variations en profondeur ?

— d) Les valeurs de C/N sont-elles en corrélation avec d'autres grandeurs comme le pH.

Les calculs statistiques se sont révélés spécialement précieux pour nous permettre de tirer les conclusions suivantes :

a) En réponse à la première question, *il existe dans tous les horizons une relation linéaire très étroite entre les valeurs du carbone et de l'azote.*

L'utilisation du rapport C/N est donc parfaitement légitime, même pour des études détaillées.

Cependant, la simple inspection des valeurs C/N donne à penser qu'il pourrait exister des relations linéaires différentes suivant les horizons et suivant les stations.

Mattson (17) explique l'existence de relations entre C et N par une fixation d'azote proportionnelle à la quantité de matières carbonées possédant ou ayant acquis un caractère « acidoïde ». Cette quantité ne suit pas les mêmes lois de variation que celles du carbone total.

b) *Valeurs de C/N pour la différenciation des stations.*

(17) MATTSON, S. et KOUTLER-ANDERSON, E.. (1941). The acidbase conditions in vegetation, litter and humus. IV. The strength of the acidoids and the relation to nitrogen. *Ann. of the Agric. College of Sweden*, vol. 9, p. 71.

Quelques observations découlent de l'inspection du tableau ci-contre :

C/N

Hori- zons	STATION I	STATION II	STATION III	STATION IV
1	12.51 11.14 7.21	14.65	18.02 14.67 11.46	18.31 15.54 13.88
2	12.17 10.89 8.39	12.91 10.79	21.03 17.42 11.76	22.34 18.05 14.63
b			21.03 16.86 13.26	
3	8.70 7.82 5.88	13.40 11.02 7.12	17.30 12.70 10.56	17.67 13.74 8.97
4	8.86 6.04 3.56	16.65 8.46 4.56	9.72 7.64 4.66	15.42 9.60 5.24

Les écarts individuels sont considérables dans chaque horizon. Les calculs statistiques ont montré qu'il faudrait près de 200 répétitions pour assurer des différences significatives inférieures à l'unité.

Toutefois, des tendances apparaissent nettement :

— *Pour les horizons humifères* : la station I possède les résultats les plus bas ; la station IV montre les chiffres les plus élevés. La station II se rapproche de I et III de la station IV.

Mais il faut noter que seules se différencient significativement l'une de l'autre la station I et le groupe des stations III et IV.

— *Pour les horizons inférieurs*, si des différences apparaissent encore à l'œil, elles ne sont plus garanties significativement.

En résumé, les valeurs de *C/N* confirment en général les indications données par les différentes expressions de l'acidité.

Si, dans la station II les valeurs *C/N* tendent à s'élever alors que les conditions d'acidité restent semblables à celles de la station I, il faut y voir sans doute la conséquence du tassement en surface observée sur une aire à couvert trop peu dense.

c) *Variations en profondeur.*

La diminution des valeurs suivant la verticale est un fait de constatation générale. Théoriquement les chiffres les plus faibles sont de l'ordre de 6,25 et correspondent à la composition de la matière protéique (*).

(*) RUSSELL, W. E., (1950). Soils conditions and plant growth, op. cit. n° 9 p. 272.

Pratiquement, les faibles quantités de matières organiques présentes dans les horizons non humifères rendent difficile l'obtention de chiffres valables en profondeur, pour des raisons techniques.

Dans les horizons humifères un fait apparaît assez nettement dans les stations III et IV lorsque la distinction des deux premiers horizons a été rendue possible.

Le second horizon possède des valeurs plus élevées que le premier. Or, morphologiquement, il comporte la frange inférieure violacée de diffusion de l'horizon A¹ qui donne localement naissance à un mince horizon A² d'un petit podzol superficiel. Ces deux caractères se confirment donc mutuellement.

2. RELATIONS C/N ET ACIDITE.

Nous considérons exclusivement les horizons supérieurs.

- *Relations C/N avec les différentes valeurs du pH :*

A première vue et logiquement d'ailleurs une relation inverse apparaît, les valeurs les plus élevées des pH devant correspondre à des valeurs plus faibles pour C/N, encore que la confirmation statistique n'apparaisse pas régulièrement.

— *2. Relations C/N et hydrogène échangeable :*

Il nous est possible, quoiqu'indirectement, de découvrir une relation positive entre ces deux groupes de chiffres. Les valeurs C/N sont en effet en étroite relation linéaire avec le carbone total (C) qui lui, est également en relation linéaire avec l'hydrogène échangeable.

3 LE POURCENTAGE D'HUMUS PRECIPITABLE DANS L'HUMUS TOTAL

L'humus peptisable par le fluorure et précipitable par les acides comporte au moins partiellement les « acides humiques » assimilés à de gros anions déplaçables par les ions OH ou par certains anions capables de précipiter le calcium comme F.

Le tableau (XI) en addendum donne les valeurs absolues.

Pour acquérir une idée sur la nature ou le degré d'évolution de la matière organique, il nous paraît plus utile d'observer le rapport humus précipitable

— exprimé en %, que l'on peut utiliser en quelque sorte
humus total

comme un « coefficient de peptisation »

Les valeurs de l'humus total ont été obtenues en multipliant conventionnellement les valeurs du carbone total par 1,725.

Le tableau suivant permet de faire ressortir quelques points en ne considérant pas les horizons inférieurs pour lesquelles les déterminations du carbone précipitable deviennent aléatoires pour des raisons techniques.

HP/HT

Hori- zons	STATION I	STATION II	STATION III	STATION IV
1	7.09 5.28 3.60	5.38	5.66 4.55 3.67	11.20 8.26 6.28
2	8.29 5.59 3.60	4.37 3.88	7.60 5.68 4.30	16.30 10.77 5.12
b			9.37 6.99 4.60	

CONCLUSIONS.

1°. A première vue et statistiquement, la station IV seule se distingue des trois autres qui apparaissent groupées en une même population, si on groupe les horizons humifères (voir partie biométrique).

Il semble donc que les valeurs de ce rapport soient surtout influencées par la nature de la litière.

Rappelons que dans la station IV la litière comporte en majeure partie des aiguilles d'épicéa, et que dans les trois autres feuilles et débris de hêtre dominant presque exclusivement. Cette première constatation peut être considérée conforme à la conclusion de MATTSON (op. cit. n° 17, p. 73) sur l'identité de nature du « complexe amphotérique » dans une litière et dans l'humus dérivé, constitution qui est variable d'une essence à l'autre.

2° Une autre tendance apparaît assez clairement dans les deux dernières stations : les valeurs pour le deuxième horizon tendent en général à être supérieures à celles observées dans le premier. Rappelons qu'une tendance analogue avait été signalée pour le rapport C/N et confirme les caractères podzoliques des horizons superficiels dont l'humus serait du type *humolignine* (18 et 19).

4. RELATIONS CARBONE-HYDROGENE ECHANGEABLE ET HUMUS PEPTISABLE-HYDROGENE ECHANGEABLE.

L'étude statistique s'est avérée particulièrement intéressante pour dégager certaines relations.

Dans les deux cas, il est apparu une relation linéaire pour tous les horizons humifères, à l'exclusion des horizons minéraux (sauf station I).

Humussubstanze. *Bodenkunde und Pflanzenernährung*, Band 27, p. 129 à 143.

(18) SIMON, K., (1933). Über der Unterschiedliche eigenarten extrahierbarer

(19) Voir également l'excellente mise au point de DUCHAUFOR, Ph., (1953). Humus actif et humus inerte. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts*, t. XIII, fasc. 2, p. 435.

Il se confirme donc que les matières organiques jouent un rôle nettement prépondérant dans l'économie du sol en hydrogène échangeable au sein des horizons riches en humus.

On pourrait déduire toutefois de l'examen des coefficients de corrélation et de régression linéaires, que les matières organiques peptisables et précipitables ne constituent pas l'élément le plus important à considérer.

5. RECHERCHES QUALITATIVES DES NITRATES.

Il s'agit d'un simple essai d'orientation exécuté à la diphenylamine sulfurique.

Les résultats exposés d'une manière très générale sont les suivants :

- *Station I* (à fétuque de pente) : présence générale des nitrates dans presque tous les horizons.

Station II (à fétuque de plateau) : présence en quantités faibles dans quelques horizons.

— *Station III* (hêtraie à myrtille) : aucune trace.

— *Station IV* : aucune trace.

Ces résultats concordent bien avec la morphologie mull et mor des horizons humifères.

LA CAPACITE DE SORPTION.

Cette détermination avait pour but de préciser quelque peu le comportement physico-chimique des horizons minéraux. Rappelons que pour l'ensemble des horizons, les valeurs de l'hydrogène échangeable MEHLICH peuvent donner des indications relatives quant aux propriétés sorptives des sols à faible garniture ionique.

Dans les horizons humifères, les essais nous ont montré que les deux groupes de valeur évoluent parallèlement et proportionnellement à la teneur en matières organiques.

Le tableau suivant est suggestif et permet quelques remarques :

Sorption totale
m.é.q. pour 100 gr de terre fine

Horizons	STATION I	STATION II	STATION III	STATION IV
3	7.73 4.85 2.58	8.91 6.76 4.18	12.24 8.41 6.15	13.79 10.51 8.55
.	4.95 3.14 1.85	8.14 5.06 2.56	7.71 5.05 3.63	8.10 6.37 3.79

CONCLUSIONS.

1^o. La station I se caractérise par les valeurs les plus faibles en observant que ces valeurs ne sont pas proportionnelles à la teneur en éléments fins minéraux.

Afin d'acquérir un complément d'information, la sorption minérale a été déterminée sur 6 échantillons des stations I et IV après combustion par H_2O_2 de la matière organique.

Voici les résultats :

Station I		Station IV	
Sorption tot.	Sorption min.	Sorpt. tot.	Sorpt. min.
6,42	5,10	8,6	7,83
3,35	6,54	13,7	7,18
2,7	5,54	12,9	7,47
2,6	5,48	9,4	8,18
3,2	4,77	11,8	7,42
2,8	4,80	5,07	6,36

En résumé, dans la station I, il y a augmentation de la sorption ; pour la station IV, il y a diminution après combustion des matières organiques.

Il y a manifestement des modes divers de formation de complexes organo-minéraux dans les deux stations.

L'ultime explication de ce phénomène est malaisée à donner. MATTSON (20) a signalé des difficultés semblables.

On peut toutefois s'inspirer d'une remarque de l'auteur précité (op. cit. p. 83) pour constater que les sols à *mull* (*) (station I) ont une matière organique plus évoluée à caractère plus « acidoïde » formant avec le Fe et l'Al des complexes de natures différentes, de stabilité plus grande que ceux caractérisant les sols à *mor* (station IV), diminuant sans doute par recouvrement le caractère négatif de l'argile. W. RUSSELL (op. cit. n^o 9 p. 118) signale également l'existence de groupes basiques dans la matière organique en conditions acides (probablement avec N iminé).

(20) MATTSON, S. et BORATYNSKI, K., (1939). The electrochemistry of soil formation. *Annals of the Agricultural College of Sweden*, vol. 7, p. 104.

(*) Le terme *mull* recouvre également au moins partiellement le terme « moder » des auteurs allemands dans le cas présent.

F. CONCLUSIONS GENERALES

I. Hétérogénéité du milieu édaphique naturel

L'ensemble des résultats montre une hétérogénéité relativement grande du sol forestier même examiné sur une aire restreinte.

Cette structure en mosaïque s'explique par l'absence des actions de mélange mécanique qui intéressent les sols agricoles.

La distance où l'on se trouve des troncs d'arbres, les variations individuelles dans la flore, les pistes des animaux, les traces très locales d'érosion ou de colluvionnement, les accumulations accidentelles de litière, etc..., sont parmi les facteurs de variations que l'on peut multiplier à l'infini, d'où apparaît cette nécessité de concevoir un mode d'échantillonnage bien adapté à la nature de la recherche entreprise.

Les présentes recherches ont précisé d'une part, l'amplitude des variations observées pour une série de grandeurs pédologiques et ont déterminé dans certains cas le nombre minimum de répétitions exigé pour l'obtention de résultats significatifs (voir deuxième partie).

II. Description pédologiques des stations

Le présent travail a montré que la plupart des déterminations effectuées possèdent une valeur réelle pour distinguer les stations l'une de l'autre, mais à condition de procéder à un échantillonnage soigné.

En résumé, les stations peuvent se caractériser comme suit en complément des indications données par l'examen morphologique.

Station I : (hêtraie à fétuque de pente).

Sols bruns forestiers acides, à saturation très faible et caractéristiques des pentes nord, à humus du type *mull acide*. Ils correspondent aux *oligitrophe Braunerde* de Kubiëna (21).

Station II : (hêtraie à fétuque de plateau).

Il s'agit également d'un *sol brun forestier acide*, mais avec une instabilité plus grande du caractère *mull* des horizons organiques (fréquence de l'apparence *moder*).

De tels sols se rencontrent sur les aires très étendues s'étalant sur les plateaux et pentes faibles dans le massif forestier étudié.

Station III : (hêtraie à myrtille).

Sols bruns podzoliques, dont certains caractères comme la teinte ocreuse de fer libre des horizons minéraux sont probablement originels sur les flancs sud (profils de la chênaie à bouleaux) et dont d'autres sont sans doute liés à la prédominance actuelle du hêtre (micro-podzol de surface).

Station IV : (sous l'influence de l'épicéa).

Différents types se succédant rapidement en auréole autour des fanges tourbeuses, ayant en commun des caractères podzoliques originels aggravés par la présence actuelle de l'épicéa.

III. Propriétés générales des sols observés

Laissant de côté les sols hydromorphiques du type « argile blanche » il est possible de fixer un certain nombre de caractères qui s'appliquent

(21) KUBIËNA, W. L., (1953) Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, pp. 285 à 287.

d'ailleurs en gros aux principaux types de sols rencontrés sur les hauts plateaux ardennais et demeurés sous feuillus.

1. *Grande désaturation ou pauvreté cationique*, due principalement à la nature du substrat géologique schisto-gréseux originellement pauvre en bases si on fait abstraction de quelques bancs plus calcaireux et sans doute, mais accessoirement à une longue histoire pédologique et forestière.
2. *Stabilité physico-chimique relativement grande si l'on considère la mobilisation du fer* : la forte acidité n'a pas engendré d'importants phénomènes podzoliques. Les podzols vrais sont rares en Ardenne et explicables par des circonstances lithologiques, topographiques ou historiques spéciales. Les « micropodzols » vrais de surface sont peut-être plus abondants, mais ne représentent qu'un faible pourcentage des surfaces forestières feuillues. Et ces phénomènes, quand ils sont présents n'entament généralement qu'une mince pellicule de terre. Sur les plateaux (station II) les minces horizons blanchis de surface sont parfois assimilés à des micropodzols.

En réalité, il s'agit essentiellement de *micro-gleys* comme les analyses l'ont montré, avec une toute autre signification écologique.

Il serait toutefois fort imprudent d'établir un parallélisme étroit entre dégradation physico-chimique et dégradation biologique, la seconde pouvant être avancée sans paraître morphologiquement dans le profil.

3. *Grande instabilité biologique au niveau des agents humificateurs* : ce caractère se marque à l'évidence dans les fluctuations rapides que l'on peut observer dans l'espace et dans le temps au sujet des phénomènes d'humification. Il suffit de se rappeler, par exemple, les variations du facteur C/N même à l'échelle d'un seul horizon dans une station donnée. Le type *mull* s'observe avec le plus de constance sur les pentes nord grâce à l'action combinée de la fraîcheur et du maintien mécanique de la porosité. Même sur ces pentes, il existe de petites plages virant vers le type *mor* (station I).

Sur les plateaux ou pentes faibles la situation est autre. Le type *mull* peut encore exister quoique plus superficiel mais d'une manière très instable et peut évoluer vers un type *mor* ou apparaître avec toute une série de variantes et formes intermédiaires à signification écologique différente quand :

- a) *Les horizons superficiels s'assèchent exagérément* c'est le cas sous couvert trop peu dense ou lorsqu'ils ont à subir le pompage par les racines d'arbres à peu de distance des troncs.
- b) Quand apparaissent des actions mécaniques de tassement par la pluie, le passage régulier des animaux ou la circulation d'engins mécaniques.

Un autre facteur défavorable réside dans la présence assez générale en profondeur d'un horizon peu perméable (*fragipan*) qui maintient une forte humidité dans le sol durant la saison froide et rend difficile l'hibernation de la faune fouisseuse.

Les facteurs chimiques étant au minimum, les facteurs physiques ont leur répercussion rapide sur les activités de la faune et de la

microflore qui enregistre les moindres variations écologiques. Les vers de terre et autres animaux fouisseurs sont en situation instable et cèdent facilement le pas aux arthropodes dans les activités d'humification qui, eux-mêmes, en sol devenu superficiellement trop sec se laissent supplanter par les moisissures. On passe ainsi rapidement dans le temps ou l'espace à du *mull bactérien* (vers de terre), *mull à caractères intermédiaires* (arthropodes), puis à du *mor eumycetal* (22).

Sur les pentes sud, la forte dessiccation estivale dont souffrent les horizons superficiels constituent une cause permanente du maintien du type *mor*, surtout quand il y a eu dégradation anthropique comme ce fut le cas dans la station III ou lorsque les caractères lithologiques originels sont défavorables.

Un type *mor* peut parfaitement constituer la forme adaptée à des mauvaises conditions écologiques avec comme corollaire l'imposition de caractères plus ou moins podsoliques, sur la stabilité de laquelle il est souvent difficile de se prononcer quand on manque de connaissances précises sur l'histoire du forêt.

Les observations sur le terrain permettent en tout cas de supposer que des sols bruns ocreux (*brown podsol soils* des Américains ou *rostbraunen Waldböden* de HARTMANN - 22) constituent probablement des formations climatiques sur les expositions sud en équilibre sous la végétation à chêne-houleau.

IV. Action du hêtre sur le sol en conditions ardennaises.

Le hêtre est-il une essence « dégradante » ou améliorante du sol ?

La réponse à cette question formulée par de nombreux auteurs et de manière très divergente montre la complexité du problème, ou tout au moins la nécessité qu'il y a de ne pas extrapoler inadéquatement les observations formulées en des circonstances lithologiques ou climatiques données.

Il est un fait tout d'abord que la faune du hêtre possède des qualités acidifiantes comme les travaux de ETTER (23), MATTSON (24), RICHARD (25), BOUDRU (26), DUCHAUFOR (27 et 28), etc., l'ont mis en évidence.

(22) HARTMAN, F., (1952). Forstökologie, Verlag Fromme, Vienne, p. 89.

(23) ETTER, H., (1943). Pflanzensociologie und bodenkundliche Studien an schweizerischen Landwäldern. Mitt. der schw. Anstalt forstl. Versuchswesen, t. XXVIII, 1, Zürich, pp. 1 à 132.

(24) MATTSON, S. and KOUTLER-ANDERSON, E., (1944-1945). The acid base condition in vegetation, litter and humus, VIII, forms of acidity. Annals of the Agric. Coll. of Sweden, vol. 12, pp. 70 à 100.

(25) RICHARD, F., (1945). Die biologische Abbau von Zellulose und Eisweiss Testschnüren im Boden von Wald und Rasengesellschaften. Mitt. schweiz Anstalt forstl. Versuchswesen, XXIV, 1, pp. 297 à 345.

(26) BOUDRU, M., (1947). A propos de certaines propriétés des feuilles et aiguilles mûres de nos arbres forestiers en liaison avec leur pouvoir améliorant. Bull. Soc. Centr. Forest. de Belgique, n° 3, 4, pp. 129, 162.

(27) DUCHAUFOR, Ph., (1947). Le hêtre est-il une essence améliorante ? Rev. des Eaux et Forêts, décembre, pp. 729 à 737.

(28) DUCHAUFOR, Ph., (1948). Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française. Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts, t. XI, fasc. 1, 332 p., (p. 258).

Toutefois, son pouvoir acidifiant et dégradant n'est pas inéluctable et comme l'a bien précisé DUCHAUFOUR (op. cit.), « Le hêtre donne naissance à des types d'humus très différents suivant que les conditions de climat et de roche-mère sont plus ou moins favorables à l'activité bactérienne ».

Dans le domaine étudié, si nous avons à considérer des facteurs lithologiques plutôt défavorables, nous observons des conditions climatiques générales mieux adaptées au maintien dans le sol d'un état hydrique satisfaisant, nécessaire pour assurer une bonne humification, en rappelant l'influence exercée par toutes les variantes lithologiques, topographiques, historiques et culturelles que l'on peut normalement rencontrer.

Il faut remarquer toutefois, que là où se sont installées des terres podzoliques pour des raisons historiques et topographiques (station III) *le hêtre s'avère incapable de déclencher une évolution progressive qui aurait pour conséquence la rétrogradation des phénomènes podzoliques*. Il peut même imposer localement de petits podzols superficiels sur terre brune podzolique ocreuse.

Dans une note précédente (29) nous avons signalé que l'influence dégradante du hêtre en Belgique, là où elle est évidente, varie considérablement d'une région à l'autre en même temps que varient les conditions climatiques et lithologiques (présence de calcaire).

V. Action de l'épicéa.

C'est très accessoirement que cette étude a rencontré le problème de l'épicéa.

L'exemple de la station IV a montré l'influence uniforme d'une litière d'épicéa sur tout un complexe pédologique.

Des caractères podzoliques se sont uniformisés et stabilisés après 60 ans. Le fait important n'est peut-être pas l'intensité de la dégradation, mais la difficulté de revenir en arrière en conditions ardennaises, même après rétablissement de feuillus, en laissant agir les seuls facteurs naturels.

EN CONCLUSION FINALE de notre étude, nous pouvons admettre que le Plateau de Saint-Hubert possède un *potentiel de productivité plutôt faible* sans doute, si l'on s'en réfère à ces caractères lithologiques originels, et encore *relativement intact*, mais accusant très rapidement l'influence de toute pratique forestière défavorable ou mal adaptée.

(29) MANIL, G. (1951). Considérations sur la pédologie forestière à propos de récentes excursions, *Soc. Roy. Forest. de Belgique*, Avril 1951.

DEUXIEME PARTIE.

ETUDE BIOMETRIQUE

A. — APERÇU SUR LES METHODES BIOMETRIQUES EN PEDOLOGIE (*)

En tant que discipline scientifique, la Pédologie procède au moyen de mesures physiques et physico-chimiques sur des échantillons extraits du sol. Nous nous proposons ici d'esquisser rapidement les points principaux de la méthodologie biométrique en général, en prenant comme exemple l'excellente recherche pédologique effectuée par G. MANIL et ses assistants MM. EVRARD, GRUBER et COLLIN. Puis nous passerons rapidement à la façon d'établir une corrélation entre les résultats des mesures pédologiques et des relevés phytosociologiques avec les rendements agronomiques.

1. — ESQUISSE DE LA METHODOLOGIE BIOMETRIQUE

1. QUESTION POSEE

Avant de parler des méthodes biométriques proprement dites, il faut toujours exprimer clairement *la ou les questions posées*. En bref, ici, est-il possible de distinguer valablement des stations au moyen de mesures pédologiques effectuées dans des horizons distingués.

Pour répondre à cette question, les méthodes biométriques utilisées dans le présent travail rentrent dans le cadre de la théorie de l'échantillonnage (sampling), de l'analyse de la variance et de la régression linéaire comme première approximation, tout au moins.

2. PLAN D'EXECUTION (« DESIGN »)

Après avoir choisi une station qu'il pense représentative d'un type de sol, le pédologue creuse plusieurs profils et les dispose de façon à ce qu'ils soient représentatifs de la station. Ces profils découvrent, en gros, divers horizons organiques (1 et 2) et inorganiques (3 et 4). Dans chacun de ceux-ci à un ou des moments successifs, on prélève au moins un échantillon de sol. Au moyen de différentes méthodes, les produits

(*) Notes rédigées par L. Martin.

d'extraction de ces échantillons sont soumis à des analyses chimiques parallèles, doubles ou multiples. D'où le *plan d'exécution* « *design* » montrant la hiérarchie des opérations à effectuer suivant les principes dégagés par Sir R. A. FISHER (1925 et 1935) :

— Choix d'un complexe pédo-phytosociologique situé sur le Plateau de Saint-Hubert,

— 4 stations dans ce complexe,

— 10 profils disposés dans chaque station,

— 4 horizons ont été étudiés biométriquement dans chaque profil,

— 2 échantillons au moins devraient être prélevés au hasard dans chaque profil pour permettre de déceler l'erreur d'échantillonnage (*sampling error*) au sein du profil.

2 ou 3 analyses indépendantes sont effectuées par échantillon prélevé, ce qui permet de déceler l'erreur analytique d'une détermination physique ou physico-chimique.

3. PLAN D'ANALYSE

30. Considérations générales.

C'est une règle absolue de la méthodologie biométrique de ne jamais passer à l'exécution du plan (*design*) que lorsqu'un schéma adéquat et valide de l'analyse des données futures a été écrit sous la forme bien connue :

Source de variation	Degrés de liberté	Contribution à la somme des carrés des écarts	carré moyen	F	F ₀
---------------------	-------------------	---	-------------	---	----------------

Dans le cas le plus complet, les prélèvements devraient être effectués à plusieurs instants, par exemple un prélèvement au cours de chaque saison ou bien encore : on pourrait effectuer des prélèvements à la même date au cours d'années successives. Si donc, 4 prélèvements au cours du temps, un facteur supplémentaire de variation contrôlée Temps est introduit. Si le plan des prélèvements successifs est fait correctement, l'effet principal « Temps » et les interactions « Temps $\times$ Horizon », « Temps $\times$ Stations », « Horizons $\times$ Stations $\times$ Temps » (H $\times$ S $\times$ T) peuvent être dégagés.

D'un point de vue général, considérons une différence entre les moyennes de deux déterminations analytiques finales provenant

- soit de deux des 4 stations,
- soit de deux des époques où le prélèvement a été effectué,
- soit des deux horizons considérés,
- soit des deux échantillons de l'horizon.

Cette différence peut être 1° réelle ou significative, ou bien 2° accidentelle c'est-à-dire due au hasard seul.

Il importe de bien réaliser que dans la classification hiérarchique des niveaux a, b, c, d, où l'on considère la différence, la part accidentelle d'un niveau tel que a implique une contribution des sources de variations sous jacentes b, c, d.

C'est un des buts de l'analyse de la variance que de disséquer ces contributions successives. Les pédologues ont effectué une série de telles analyses à un ou deux facteurs contrôlés en dégagant les effets principaux (Horizons, Stations) et en outre les interactions entre ces facteurs. Il se peut en effet que la grandeur de la différence entre les pH des horizons 3 et 4, par exemple dépende des stations où ces profils ont été creusés (interactions $H \times S$ significative). L'analyse de la variance permet de dissocier ces interactions doubles telles que $S \times H$, voire même triples telles que $H \times S \times T$, et d'en tester le caractère significatif. Le problème est maintenant de décider quelle est l'erreur résiduelle qui servira d'étalon pour ce test de facteurs contrôlés. Lorsque les interactions sont significatives par rapport à l'erreur analytique ou l'erreur d'échantillonnage, elles servent elles-mêmes en effet d'élément de référence pour tester le caractère significatif des différences entre stations ou entre horizons ou entre profils. Si cependant, on peut, par un plan bien conçu et une analyse adéquate, obtenir une *erreur résiduelle pédologique*, mesure de la variation moyenne sur le territoire des stations. Dans ce cas, cette erreur résiduelle biologique constitue une erreur valide pour tester les effets contrôlés S (Station), H (Horizon), ainsi que l'interaction $S \times H$. Ce point a été appliqué par MM. EVARD, GRUBER et COLLIN dans le travail suivant (p. 96 et suivante).

Il faut insister sur ce fait qui imprime un *caractère réaliste aux tests des effets principaux*. Les conditions de légalité de cette analyse de la variance ont été dégagées et parmi celles-ci, soulignons la prise au hasard de deux échantillons au moins au sein de chaque horizon. Sans cette précaution, l'erreur d'échantillonnage (qui pourrait atteindre 10 %) ne peut être déterminée alors que l'erreur analytique s'élève suivant le cas de 1 à 5 %. Cependant, lorsque l'on ne prélève qu'un seul échantillon par horizon, l'erreur d'échantillonnage est confondue avec l'erreur analytique. Celle-ci est toujours faible, car les conditions de reproductibilité des opérations sont, dans un laboratoire, toujours réalisées à un degré incomparablement supérieur à celui qui existe sur le terrain.

Toutefois, dans l'étude présente, ce facteur ne joue pas un rôle dirimant, car, nous l'avons vu, les tests de signification concernant les Stations S d'une part et les Horizons H de l'autre, ont été effectués à partir de l'erreur résiduelle pédologique et non à partir de l'erreur analytique.

Le plan de réalisation et l'analyse que nous venons de donner est certes un plan idéal, car il n'est pas toujours possible de réaliser les prélèvements suivant ce planning. Dans ce cas, l'information recueillie ne peut être disséquée aussi finement mais présente cependant un caractère objectif qui mérite une considération non négligeable. Dans un colloquium organisé par la Société *Adolphe Quetelet* à la Fondation Universitaire le 21 août 1953, le Professeur Gertrude Cox, co-auteur avec le Professeur W. G. COCHRAN de l'ouvrage bien connu « *Experimental Designs* », a insisté à juste titre sur le rôle du biométricien dans l'adaptation du plan d'expérience aux nécessités biologiques ou techniques. Cette attitude réaliste a été adoptée à la suite de plus de 20 années de consultations biométriques aux États-Unis, en Amérique Centrale et du Sud, ainsi qu'en Extrême-Orient.

Il nous paraît aussi utile de ne faire ne fut-ce que une allusion à l'articulation entre la question, ici pédologique, posée et le plan statistique où techniquement s'effectue le test. Voici en bref, la séquence des opérations :

Question pédologique posée — Hypothèse biologique nulle $\mathcal{H}_0$ — Hypothèse statistique nulle H_0 « équivalente » au sens de J. NEYMAN (1951) à H_0 — Test de H_0 à un seuil de signification α — Inférence statistique sur H_0 — Inférence pédologique sur $\mathcal{H}_0$ — Réponse à la question posée.

Ce processus très élaboré fait partie intégrante de la logique du laboratoire de Sir R. A. FISHER. Nous renvoyons le lecteur à une étude que nous avons récemment publiée en prenant le test χ^2 comme exemple (L. MARTIN, 1953.) Comme la marche des opérations mentales et numériques est la même quel que soit le test χ^2 , t , F , cet exemple a une portée générale.

Passons maintenant à un rappel sur la technique utilisée dans le plan statistique et spécialement sur l'analyse de la variance à un et deux facteurs. Nous introduisons délibérément les notations condensées dont l'usage s'étend de plus en plus. Le principe de ces notations est exposé pour le cas d'analyse de la variance à un facteur.

31. Notations.

Dans l'analyse de la variance à un seul facteur, les données se présentent comme suit :

	Stations				
	1	2	<i>i</i>	<i>r</i>	
Répétitions	—	—	—	—	
	—	—	—	—	
	—	—	—	—	
	—	—	y_{ij}	—	
	—	—	—	—	
	—	—	—	—	
Somme par Station	$Y_{1.}$	$Y_{2.}$	$Y_{i.}$	$Y_{r.}$	$Y_{..}$
Moyenne par Station	$y_{1.}$	$y_{2.}$	$y_{i.}$	$y_{r.}$	$y_{..}$

L'indice $i = 1, 2, 3, 4, \dots, r$ repère les stations. Dans l'étude actuelle, $r = 4$. L'indice $j = 1, 2, 3, 4, \dots, s$ repère les répétitions de la mesure y dans les profils. Ces répétitions sont indépendantes 1^o au sein de chaque station et 2^o d'une station à l'autre. Pour simplifier les choses, on a

utilisé le même nombre $s = 10$ de profils ou répétitions pour chaque station. Les notations condensées sont ainsi définies :

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^s y_{ij} &= Y_{i.} & \sum_i \sum_j y_{ij} &= Y_{..} \\ (1/s) \sum_{j=1}^s y_{ij} &= \bar{Y}_{i.} & (1/rs) \sum_i \sum_j y_{ij} &= \frac{\sum_i Y_{i.}}{r} \\ & & &= \frac{Y_{..}}{rs} \end{aligned} \quad (1)$$

Lorsque l'on somme les y_{ij} par rapport à l'indice j , on obtient $Y_{i.}$ (Y en lettre capitale). La moyenne correspondante est notée $\bar{y}_{i.}$. On voit que l'indice par rapport auquel on somme devient muet : il est remplacé par un point. Si l'on somme les y_{ij} par rapport aux deux indices, on obtient $Y_{..}$. Ces conventions s'étendent aisément à l'analyse de la variance à deux facteurs. Dans le paragraphe consacré à l'interaction de deux facteurs, le lecteur verra spécialement l'utilité de ces notations condensées.

32. Analyse de la variance à un facteur

L'analyse de la variance à un facteur suppose une décomposition additive d'un résultat observé y_{ij} en des effets contrôlés (μ , τ_i) et aléatoires (e_{ij}) suivant la relation

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

Les estimations des paramètres μ et τ_i sont obtenues par la méthode des moindres carrés. On considère successivement :

1°. μ : effet moyen général dont l'estimation pour la moyenne générale bloque un degré de liberté. Notons par un $\hat{\mu}$ le processus « prendre l'estimation de ». On a

$$\hat{\mu} = y_{..}$$

2°. τ_i : effets spécifiques des 4 stations ($i = 1, 2, 3, 4$) se greffant sur l'effet moyen général et soumis à la restriction $\sum \tau_i = 0$. Ces effets τ_i sont estimés par la différence entre la moyenne de l'horizon i et la moyenne générale :

$$\hat{\tau}_i = y_{i.} - y_{..}$$

Comme d'autre part, la moyenne générale $y_{..}$ est la moyenne des $y_{i.}$, on voit de suite que la somme des $y_{i.} - y_{..}$ est égale à zéro.

$$\sum_{i=1}^r (y_{i.} - y_{..}) = 0$$

Les quatre effets horizons τ_i ne sont pas indépendants. Si l'on se donne trois effets τ_1, τ_2, τ_3 , par exemple, le quatrième effet horizon τ_4 est déterminé. Ce fait est décrit en disant que les comparaisons entre les quatre horizons ont *trois* degrés de liberté (3 d. L.).

3° e_{ij} : les composantes aléatoires e_{ij} sont *supposées* être indépendantes des effets contrôlés μ et τ_i ; indépendantes entr'elles (covariance nulle) ; distribuées suivant une loi gaussienne de moyenne zéro et de variance vraie σ^2 . Cette dernière est estimée à partir de la variance résiduelle V_r qui figure dans le tableau d'analyse de la variance que l'on trouvera ci-après. Cette variance résiduelle est basée sur $N - r$ degrés de liberté.

Une identité entre estimations relatives à la formule [(2) page 73] s'écrit en faisant passer l'estimation de μ dans le premier membre :

$$y_{ij} - y_{..} = (y_{i.} - y_{..}) + (y_{ij} - y_{i.})$$

Elevant au carré et sommant en i et j ($i = 1, \dots, r$) ($j = 1, \dots, s$), il vient, en égard à [(1) page 73]

$$\underset{ij}{SS} (y_{ij} - y_{..})^2 = s \underset{i}{S} (y_{i.} - y_{..})^2 + \underset{ij}{SS} (y_{ij} - y_{i.})^2$$

Somme totale
(par rapport à la
moyenne générale)

Interstations

Résiduelle

Depuis FISHER, on écrit les différents postes de cette relation dans un tableau d'analyse de la variance en spécifiant les sommes respectives de variation (Tableau 1) :

1	2	3	4	5	6
Source de Variation	d.l.	Somme de carrés d'écart ou S.S.	Variance	F	F ₀
Interstations	$r-1$	$\underset{i}{SS} (y_{i.} - y_{..})^2$	$V_i = \frac{SS}{r-1}$	$F = \frac{V_i}{V_r}$	$F_0 (r-1, N-r; \alpha)$
Résiduelle	$N-r$	$\underset{ij}{SS} (y_{ij} - y_{i.})^2$	$V_r = SS/(N-r)$		
Totale	$N-1$	$\underset{ij}{SS} (y_{ij} - y_{..})^2$			

La variance V_i correspondant à l'effet interstation est obtenue en divisant la Somme des carrés d'écart interstations par le nombre de d.l. De même pour V_r , variance résiduelle. Cette quantité mesure le fond *inévitabile* de la variation biologique, pédologique ou technique. Il est donc naturel de prendre cette quantité comme unité de référence pour rechercher le caractère significatif de l'effet des stations sur la grandeur pédologique considérée. D'où le calcul de

$$F = V_i/V_r$$

avec $(r - 1)$ et $(N - r)$ d.l. respectivement.

La distribution d'échantillonnage de F permet tester l'hypothèse nulle H_0 ,

$$F = 1 \text{ ou } V_i = V_r.$$

Si nous prenons un seuil de signification α (soit 0,05, par exemple), nous relevons dans la table F , et pour des nombres identiques de d.l., la valeur F_α correspondant au seuil fixé. Si l'on a $F > F_\alpha$, nous pouvons rejeter l'hypothèse nulle avec une chance maxima de 5 % de nous tromper en rejetant à tort l'hypothèse nulle quand elle est vraie. On dit aussi plus brièvement : l'effet interstation est significatif au seuil 0,05.

Dans ce cas, la grandeur pédologique analysée peut être retenue en vue de discriminer au moins une station parmi les autres.

MM. EVRARD, GRUBER et COLLIN ont effectué les calculs d'analyse de la variance à un facteur.

Si l'hypothèse nulle est à rejeter sur la base du test F , nous pouvons calculer la plus petite différence significative d entre moyennes par stations choisies au hasard sur la base suivante : la variance d'une telle différence vaut $(2\sigma^2/r)$. D'où, au seuil 0,05 et avec $r(s-1)$ d.l., on a

$$d \geq t_{0,05, r(s-1)} \times \sqrt{2/r \cdot \sigma},$$

σ étant estimé par $\sqrt{Vr}$.

33. Analyse de la variance à deux facteurs

331. Interaction confondue avec l'erreur résiduelle.

Si l'on veut étudier une mesure pédologique suivant différents horizons de plusieurs stations, on pourrait d'abord se contenter de creuser un seul profil par station. On obtiendrait ici un tableau y_{ij} , l'indice i repérant les 4 stations tandis que $j = 1, 2$, indique l'horizon étudié. A $j = 1$ et 2 correspondent les horizons 3 et 4 respectivement (voir p. 89).

		Stations						
		$i = 1$	2	3...	$i...$	r		
Horizons	$j = 1$	—	—	—	—	—	$Y_{.1}$	$y_{.1}$
	2	—	—	—	—	—	$Y_{.2}$	$y_{.2}$
	j	—	—	—	y_{ij}	—	$Y_{.j}$	$y_{.s}$
	s	—	—	—	—	—	$Y_{.s}$	$y_{.s}$
		$Y_{1.}$	$Y_{2.}$	—	$Y_{1.}$	$Y_{r.}$	$Y_{..}$	$y_{..}$
		$y_{1.}$	$y_{2.}$	—	$y_{1.}$		$y_{..}$	

Dans ce cas, où chaque cellule (i, j) ne contient qu'une seule mesure, le modèle *supposé additif* qui est à la base de l'analyse de la variance classique s'écrit

$$y_{ij} = \mu + b_i + t_j + e_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, r.$$

$$j = 1, 2, \dots, s.$$

$i = 1, 2, \dots, r$ repère les stations.

$j = 1, 2, \dots, s$ repère les profils indépendants dans chaque station.

$k = 1, 2, \dots, u$ repère les horizons qui se retrouvent dans les s profils de chacune des r stations.

Les différents postes de l'analyse de la variance à deux facteurs avec interaction sont calculés comme suit :

A. SS total	rsu SSS y^2_{ijk} ijk	$\frac{Y^2_{...}}{r \cdot s \cdot u}$
B. SS intersérie (entre sommes par horizon 3 ou 4, pour chaque station)	SS $\frac{Y^2_{i.k}}{1 \cdot s \cdot 1}$ ik	$\frac{Y^2_{...}}{r \cdot s \cdot u}$
C. SS interstations (totaux par station)	S $\frac{Y^2_{i..}}{1 \cdot s \cdot u}$ i	$\frac{Y^2_{...}}{r \cdot s \cdot u}$
D. SS horizons (totaux par horizon)	S $\frac{Y^2_{..k}}{r \cdot s \cdot 1}$ k	$\frac{Y^2_{...}}{r \cdot s \cdot u}$
E. SS Interaction	B — (C + D)	
F. SS résiduelle	A — B	

Le lecteur voit aisément que lorsqu'un indice est sommé et remplacé par un point (indice j , par exemple), la limite supérieure de sommation se trouve en dénominateur dans le terme

$$\frac{Y^2_{i.k}}{1 \cdot s \cdot 1}$$

De plus, nous avons inséré pour chaque indice non sommé le facteur 1 au dénominateur, ce qui rend l'écriture plus symétrique et montre que l'on ramène les carrés de sommes aux valeurs individuelles.

Insérons ces postes dans le tableau d'analyse de la variance habituel pour $i = 4$, $j = 10$, $k = 2$:

Source de variation	d. l.	S.S.	Variance	F	F ₀
Stations S	3	C	$V_S = C/3$	V_S/V_R	
Horizons H . . .	1	D	$V_H = D/1$	V_H/V_R	
Interaction H×S	3	E	$V_I = E/3$	V_I/V_R	
Résiduelle (pédologique) .	72	F	$V_R = F/72$		
Totale	79				

Comme la variation résiduelle résulte d'un effet composé à partir des profils appartenant à chacune des 4 stations, il est valide de prendre V_R comme base d'un test F pour apprécier le caractère significatif de l'effet Station, du facteur H et de l'interaction $H \times S$.

333. Interaction à deux facteurs dégagée de l'erreur résiduelle pédologique et de l'erreur analytique chimique.

Dans toute recherche pédologique planifiée où sont impliquées des analyses chimiques, il importe de connaître la part que prend l'erreur de la détermination chimique, versus l'influence de la variation résiduelle pédologique dégagée au paragraphe précédent.

Pour ce faire, sont nécessaires au moins deux déterminations analytiques *parallèles en ce qui concerne chaque chaînon de l'analyse chimique*.

En fait, chaque prélèvement fut généralement soumis à deux déterminations analytiques parallèles, ce qui fournit le tableau suivant :

		Stations		
		1	2 ... i ... r	
1 (Horizon 3)	1	— —	Y_{111}	
	2	— —		
	.			
	.			
	.			
	j	y_{1j11} y_{1j12}	Y_{1j1}	Y_{ijk1}
	.			
	.			
	s	— —		
			$Y_{1..}$	$Y_{i..}$
2 (Horizon 4)	1	— —		
	2			
	.			
	.			
	.			
	j	y_{1j21} y_{1j22}	Y_{1j2}	
	.			
	.			
	s			
			$Y_{1..}$	$Y_{i..}$
			$Y_{1...}$	$Y_{i...}$

Pour l'horizon 1 et le profil j , nous y avons encadré cette paire de résultats analytiques repérés pour l'indice l qui vaut 1 ou 2 suivant qu'il s'agit de la première ou de la deuxième analyse. Nous obtenons ainsi y_{1j11} et y_{1j12} dont la somme, marquée à droite du cadre, vaut Y_{1j1} .

Nous avons 80 couples y_{ijk1} et y_{ijk2} . Ces valeurs sont comparées à la moyenne du couple, $Y_{ijk./2}$, ce qui bloque 80 degrés de liberté pour l'estimation de l'erreur analytique. La somme des carrés des écarts correspondante vaut, puisque l'indice v varie de 1 à 2,

$$\begin{array}{lcl} \text{G.} & \text{SS analyses} & \begin{array}{c} rsu \\ SSS \end{array} \frac{Y^2_{ijk.}}{1 \times 1 \times 1 \times v} - \frac{Y^2_{....}}{r.s.u.v.} \\ & \text{chimiques} & \begin{array}{c} ijk \end{array} \end{array}$$

Nous avons ainsi tenu compte des différences entre résultats analytiques pour un même échantillon. Ceci fait, les quantités $Y_{ijk.}$ sont reprises dans l'analyse de la variance du numéro précédent. D'où l'on écrit, compte tenu des 160 mesures analytiques réparties en 80 couples, les postes A, B, C, D, E, G,

$$\begin{array}{lcl} \text{A. SS total} & \begin{array}{c} rsuv \\ SSSS \end{array} & \frac{y^2_{ijkl}}{1 \times 1 \times 1 \times 1} - \frac{Y^2_{....}}{r \times s \times u \times v} \\ & \begin{array}{c} ijk l \end{array} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{A'. SS analytique} & \begin{array}{c} rsu \\ SSS \end{array} & \frac{Y^2_{ijk.}}{1 \times 1 \times 1 \times v} - \frac{Y^2_{....}}{r \times s \times u \times v} \\ & \begin{array}{c} ijk \end{array} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{B. SS interséries partielles (Horizons station)} & \begin{array}{c} rs \\ SS \end{array} & \frac{Y^2_{i.k.}}{1 \times s \times 1 \times v} - \frac{Y^2_{....}}{r \times s \times u \times v} \\ & \begin{array}{c} ik \end{array} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{C. SS interstations} & \begin{array}{c} r \\ S \end{array} & \frac{Y^2_{i..}}{1 \times s \times u \times v} - \frac{Y^2_{....}}{r \times s \times u \times v} \\ & \begin{array}{c} i \end{array} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{D. SS inter horizons} & \begin{array}{c} u \\ S \end{array} & \frac{Y^2_{..k.}}{r \times s \times 1 \times v} - \frac{Y^2_{....}}{r \times s \times u \times v} \\ & \begin{array}{c} k \end{array} & \end{array}$$

$$\text{E. SS interaction} \quad B - (C + D)$$

$$\text{F. SS résiduelle} \quad A - B$$

D'où le tableau d'analyse de la variance :

Source de variation	d. l.	S.S.	Variance
Stations S	3	C	C/3
Horizons H	1	D	D/1
Interaction $S \times H$. .	3	E	E/3
Résiduelle (pédologique) . . .	72	F	$V_r = F/72$
Totale sur le terrain .	(79)		
Résiduelle (analytique)	80	A'	$V_{an.} = A'/80$
Total (au laboratoire)	159	A	

Une telle analyse de la variance a été calculée par MM. EVRARD, GRUBER et COLLIN.

Ainsi que nous l'avons exposé dans les généralités, un test valide F est obtenu en sélectionnant la variance résiduelle pédologique V_R pour apprécier la signification des effets contrôlés, Stations, Horizons et de leur Interaction.

33. Etablissement de relations linéaires de première approximation entre deux grandeurs pédologiques mesurées dans le même horizon.

Rares sont les techniques statistiques utilisées aussi fréquemment et aussi malheureusement peut-être automatiquement que les techniques de corrélation et de régression linéaires. Et, cependant, que d'hypothèses pour obtenir des corrélations ou régressions légitimes ! Comme il importe que ces hypothèses soient toujours présentes à l'esprit des consommateurs de méthodes biométriques, nous les rappelons très brièvement.

Supposons que nous mesurions dans des horizons situés dans plusieurs profils deux grandeurs X et Y. En pédologie, X serait le pH à l'eau et Y le pH au KCl, par exemple. L'idéal serait de connaître la liaison fonctionnelle véritable

$$Y = f(X)$$

existant entre ces deux grandeurs. On peut espérer y arriver plus tard en élaborant un modèle physico-chimique du sol dont les particules et agrégats seront en interaction avec l'eau ou un électrolyte suivant le cas. Ce n'est qu'à ce prix que sera obtenue la relation vraie entre les pH considérés. Tel qu'il est posé, ce problème relève des méthodes de Biométrie rationnelle (MARTIN 1949).

Malheureusement, nous n'en sommes pas encore là ! et il faut se contenter d'une approche pragmatique du problème grâce aux méthodes de Biométrie empirique. Dans celles-ci, après examen du graphique des points observés (X_i, Y_i) , on suppose qu'il existe une relation parabolique d'ordre n ajustée d'après l'allure des données, soit entre X et Y , soit entre les transformées de X et Y , telles que le logarithme. La plus simple des relations paraboliques est évidemment la relation linéaire entre Y et X , soit entre des transformées convenables de ces variables basiques. En première approximation, tout au moins, on peut effectuer une *réduction biométrique empirique* au moyen d'une relation linéaire

$$Y = A + BX.$$

A ce stade, il faut distinguer deux cas :

1° Les deux variables mesurées X et Y sont supposées sujettes à une fluctuation d'origine biologique, pédologique ou instrumentale. De plus, les mesures successives sont supposées sans corrélation entre elles.

Cette question importante est à l'ordre du jour ainsi qu'en témoignent les études de A. WALD (1940), M. G. BARTLETT (1949) et J. TUKEY (1951). Il est à prévoir que ce traitement réaliste des données connaîtra des applications de plus en plus nombreuses en biologie et en pédologie. Pour ne pas allonger indûment cette introduction, nous ne faisons que donner les références qui permettront au lecteur de se faire une opinion.

2° Lorsque les paires (X, Y) forment un échantillon choisi au hasard dans la population, nous pouvons estimer toutes les constantes de la distribution (X, Y) . La régression linéaire de Y en X fournit la relation à partir de laquelle on peut estimer le Y correspondant à un X futur. Cependant ici, la théorie suppose la valeur X connue sans erreur et les Y_{ij} correspondant à X_i distribués normalement autour d'une moyenne y_i , une variance σ^2 indépendante de l'abscisse X_i définissant la tranche considérée (régression linéaire homoscedatique) (R. A. FISHER, 1947). Dans ce cas, la régression linéaire de Y en X qui passe par le centre de gravité du nuage $(\bar{X}, \bar{Y})$ s'écrit :

$$Y = \bar{Y} + b_{Y/X}(X - \bar{X})$$

Inversément, on peut, moyennant des hypothèses homologues, définir un coefficient $b_{X/Y}$ de régression de Y et X . Ces coefficients b ont une *dimension physique* dépendant de la *nature* physique des variables X et Y . Le coefficient de corrélation r entre X et Y est lié aux b par la formule

$$r^2 = b_{Y/X} \cdot b_{X/Y}$$

Ce coefficient est un nombre pur, *sans dimensions*.

Puisque $|r| < 1$, on a aussi $r^2 < 1$.

Si l'on fait l'analyse de la variance pour extraire la part de variation de Y qui est décrite par la variation de X , on trouve que cette portion vaut une fraction r^2 de la variation totale. C'est pourquoi certains auteurs

appellent r^2 le *coefficient de détermination* d'une variable par rapport à l'autre. A part, cette propriété intéressante, le coefficient de corrélation n'a pas un intérêt majeur pour le pédologue. Au contraire, lorsque les conditions de validité de la régression sont satisfaites, les coefficients de régression ont une signification pédologique à retenir. En effet, ils indiquent de combien d'unités la quantité Y varie lorsque X varie d'une unité. Ils expriment donc un *taux de variation* d'une grandeur par rapport à l'autre. MM. EVRARD, GRUBER et COLLIN ont donné les estimations de ces coefficients de régression et ont effectué les tests de signification suivant les techniques classiques que le lecteur trouvera dans FISHER (1947) et VESSE-REAU (1947).

4. DISCUSSION DES RESULTATS DE L'ANALYSE BIOMETRIQUE AVEC LE PEDOLOGUE OU LE BIOLOGISTE

Lorsque ces calculs ont été effectués, il est important dans l'articulation de la recherche, que le biologiste et le biométricien aient un entretien pour discuter, sur le vif, de la signification biologique des résultats de l'analyse biométrique.

5. REPONSE A LA QUESTION BIOLOGIQUE OU PEDOLOGIQUE POSEE

Celle-ci est faite par le biologiste ou le pédologue en termes de biologie ou de pédologie qui seront compris de tous les chercheurs travaillant dans la spécialité considérée.

6. ENFIN, LES RESULTATS D'UNE PREMIERE EXPLORATION PERMETTENT DE PLANIFIER UNE RECHERCHE ULTERIEURE DE FAÇON PLUS EFFICIENTE ET PLUS ECONOMIQUE

Entr'autres, il est alors possible de calculer le nombre des échantillons par horizon, de profils par station qu'il faut prendre pour mettre en évidence — avec une probabilité de 95 % par exemple — une différence de δ %, intéressante au point de vue pratique.

B. — RELATIONS ENTRE PEDOLOGIE, BIOMETRIE ET AGRONOMIE

Un des buts principaux de l'analyse pédologique est d'arriver, au moyen d'une combinaison des résultats fournis par les pédologues, les phytosociologues et les physiologistes de la nutrition, à caractériser de façon objective une parcelle de tel type de sol soumise à tel traitement, et considérée au cours de telle année où les conditions météorologiques sont spécifiées.

D'ores et déjà, outre le professeur G. MANIL, plusieurs chercheurs dont le professeur A. VAN DEN HENDE, son équipe et nous-même collaborons pour tenter de calculer un tel potentiel de productivité.

C'est ici que, généralisant une technique déjà employée par GERTRUDE COX travaillant alors à l'Iowa State College of Agriculture avec le professeur W. SNEDECOR (1946) nous étudions l'introduction d'une fonction discriminante pour obtenir ce potentiel produit. Mis en corrélation avec les relevés phytosociologiques et les rendements agronomiques observées, celui-ci permettra d'administrer une preuve objective de l'intérêt des analyses pédologiques et phytosociologiques. Ces fonctions discriminantes dont le calcul est très laborieux, sont obtenues à partir des coefficients de corrélation entre les caractéristiques mesurées deux à deux. C'est dire tout l'intérêt du travail effectué par MM. EVRARD et GRUBER qui ont déjà calculé les régressions linéaires des grandeurs pédologiques prises deux à deux telles, par exemple, que l'hydrogène échangeable (X) et le pH mesuré dans l'eau (Y).

Il est à souhaiter que cette étude puisse être poursuivie du point de vue biométrique de façon à arriver à « indexer » une station à partir de relevés phytosociologiques et des mesures pédologiques. Mais il est très probable que ce but même impliquera, par un choc en retour bien naturel, de nouvelles recherches sur le terrain. Et c'est ainsi que dans un mouvement spiral ascendant, l'association entre les mesures expérimentales et la biométrie s'appuyant tour à tour et se stimulant mutuellement permettra d'arriver à jeter quelque lueur sur les lois si complexes dont la Nature, jalousement, garde le secret, et dont la connaissance peut avoir des conséquences économiques et humaines d'une portée incalculable.

BIBLIOGRAPHIE

- BARTLETT, M. G. — Fitting a straight line when both variables are subject to error. *Biometrics*, 5, 207-212, 1949.
- COCHRAN, WILLIAM G. and COX (GERTRUDE M.) — Experimental designs. New-York, Wiley; London, Chapman & Hall.
- FISHER R. A. — Statistical methods for research workers. 1^{re} éd. London, Oliver & Boyd, 1925.
- FISHER, R. A. — The design of experiments. 1^{re} éd. London, Oliver & Boyd, 1935.
- FISHER, R. A. — Les méthodes statistiques adaptées à la recherche scientifique. (Traduit par le Dr I. Bertrand). Paris, Presses Universitaires de France, 1947.
- FISHER, R. A. and YATES, F. — Statistical tables for biological, agricultural and medical research. (1^{re} éd. 1938, 4^e éd. 1953.) London, Oliver & Boyd.

- MARTIN, L. — Evolution de la biométrie, de Quetelet au 1^{er} Congrès international de biométrie, Genève 1949. *Bull. Inst. agr. et Stat. Rech. Gembloux*, 17, 43-66, 1948-1949.
- MARTIN, L. — in. *C.R. du XIV^e Congrès des Pédicâtres de langue française*, Bruxelles, 1953, pp. 705-720.
- SNEDECOR, G. — Statistical methods. (1^{re} éd. 1937, 4^e éd. 1946) Ames, Iowa State College Press.
- TUKEY, J. — Components in regression. *Biometrics*, 7, 33-69, 1951.
- VESSEREAU, A. — Méthodes statistiques en biologie et agronomie. Paris, Bailière, 1947.
- WALD, A. — The fitting of straight lines if both variables are subject to error. *Ann. math. Statist.*, 11, 284-300, 1940.
-

B. — ANALYSE BIOMETRIQUE DES RESULTATS PEDOLOGIQUES (*)

Notre travail, rappelons-le, vise à comparer au sein d'une aire réduite et représentative, quatre types forestiers établis sur un même substratum géologique et différenciés par l'association végétale.

Une telle recherche, il va de soi, implique des inférences délicates dont la valeur n'est assurée que grâce au recours au planning de la recherche et l'analyse biométriques.

Subsidiairement, nous posons les problèmes ci-après :

a) Rechercher, pour chaque analyse, le nombre minimum de mesures réclamées à un seuil donné, par exemple, pour assurer le chiffre des unités.

b) Quelle est l'importance des variations à l'échelle d'une station, d'un profil ou d'un horizon.

c) A quelle profondeur pouvons-nous admettre l'uniformité dans le sol, à propos d'une analyse donnée.

d) Existe-t-il des relations entre certaines parmi les déterminations effectuées.

L'analyse de la variance et le calcul des relations linéaires, qui impliquent les coefficients de régression et de corrélation linéaires, répondront à ces différents points.

Le choix des stations a été défini à partir du but poursuivi.

Chaque station, une fois délimitée, ne présente, à notre point de vue, aucune particularité ; c'est pourquoi la localisation des profils secondaires, rayonnant autour d'un profil principal, a été abandonnée aux soins de l'ouvrier profileur.

Dans chaque station, nous avons creusé dix profils et procédé à un échantillonnage soigné. (A voir la note introductive de la partie pédologique).

Les échantillons, préparés en vue des traitements chimiques, ont été soumis à deux analyses indépendantes.

ANALYSES DONT LES RESULTATS ONT ETE SOUMIS AUX TESTS BIOMETRIQUES.

Remarque :

Vu l'impossibilité constatée lors des prélèvements de recueillir dans tous les cas le même nombre d'échantillons par profil, nous avons groupé les deux horizons humifères (H_1 , H_2 et b) en un horizon supérieur (H_s), chaque fois que la chose s'avérait logiquement possible.

De cette façon, les horizons supérieurs deviennent, comme 3 et 4, génétiquement homologues d'une station à l'autre.

(*) Cette partie du travail a été effectuée par MM. COLLIN, E., EVRARD, R. et GRUBER, R.

I. PROBLEMES RELATIFS A L'ETUDE DE L'ACIDITE

- 1) a) Comparaison des moyennes par station des valeurs pH pour l'horizon supérieur ($H_1, H_2 + b$).
- b) Analyse de la variance avec interaction dans les horizons minéraux.
- c) Etude du pH dans chaque station : comparaison des moyennes par horizon dans chaque station.
- 2) a) Analyse de la variance de l'hydrogène échangeable dans les horizons supérieurs.
- b) Analyse de la variance avec interaction dans les horizons minéraux.

II. ETUDE DE LA FRACTION ORGANIQUE

- 1) *Le carbone et l'azote*
 - a) Analyse de la variance de la teneur en carbone (C) dans l'horizon supérieur.
 - b) Analyse de la variance de la teneur en azote (N) dans l'horizon supérieur.
 - c) Analyse de la variance du rapport carbone/azote (C/N) dans l'horizon supérieur.
 - d) Analyse de la variance de la teneur en carbone (C) avec interaction dans les horizons inférieurs.
 - e) Analyse de la variance de la teneur en azote (N) avec interaction dans les horizons inférieurs.
 - f) Analyse de la variance du rapport carbone/azote (C/N) avec interaction dans les horizons inférieurs.
- 2) *L'Humus.*
Analyse de la variance du rapport humus peptisable/humus total (HP/HT) pour l'horizon supérieur.

III. RELATIONS LINEAIRES

- 1) pH — Hydrogène échangeable.
- 2) Carbone — Hydrogène échangeable.
- 3) Carbone — Azote.
- 4) Humus peptisable — Humus total.
- 5) Humus peptisable — Hydrogène échangeable.

I. — ETUDE DE L'ACIDITE

1. a) COMPARAISON DES MOYENNES PAR STATION DES LECTURES DE pH POUR L'HORIZON SUPERIEUR

La question posée est la suivante :

Les différences observées entre les valeurs du pH pour les quatre stations sont-elles imputables au hasard, ou au contraire, peuvent-elles être retenues pour différencier les stations.

C'est le problème assez simple de l'analyse de la variance à un facteur.

Résultats :

Les tableaux d'analyse de la variance sont reportés en addendum.

COMPARAISON DES MOYENNES DEUX A DEUX**α) pH à l'eau.**

<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV
MOYENNES	4.1123	4.1450	3.7691	3.5930
I — 4.1123		NS	S	S
II — 4.1450	NS		S	S
III — 3.7691	S	S		S
IV — 3.5930	S	S	S	

NS = différence non significative au seuil 0,05.

S = différence significative au même seuil.

Le nombre de profils réclamés pour conserver le premier chiffre des décimales, au seuil 0,05, s'élève à 15.

β) pH au KCl.

<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV
MOYENNES	3.4623	3.4980	3.1100	3.0300
I — 3.4623		NS	S	S
II — 3.4980	NS		S	S
III — 3.1100	S	S		S
IV — 3.0300	S	S	S	

Le nombre de profils réclamés pour conserver le premier chiffre des décimales, au seuil 0,05, s'élève à 4.

γ) pH à l'acétate.

<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV
MOYENNES	5.7453	5.6970	5.5627	5.4850

I — 5.7453		NS	S	S
II — 5.6970	NS		S	S
III — 5.5627	S	S		NS
IV — 5.4850	S	S	NS	

Le nombre de déterminations nécessaires pour conserver le premier chiffre des décimales, au seuil 0,05, s'élève à 8.

Conclusions :

1) Dans chacun des cas, nous constatons une variance entre stations hautement significative.

2) Quelle que soit la forme d'acidité envisagée, il apparaît que le facteur pH distingue toutes les stations l'une de l'autre à l'exception des deux premières.

Une anomalie se présente pour le pH à l'acétate où les moyennes des deux dernières stations peuvent être pratiquement confondues.

3) Les formes d'acidité ne paraissent toutefois pas favorables au même degré.

En effet, pour garder le premier chiffre des décimales, il faut 15 déterminations pour le pH à l'eau, 8 pour le pH à l'acétate et 4 pour le pH au KCl.

4) La variance résiduelle du pH au KCl demeure la plus faible : ceci implique la population la plus étroitement homogène.

Sur la base de ces observations, nous préférons le pH KCl : en effet, son utilité paraît plus grande pour différencier, au prix d'un nombre peu élevé de mesures, les quatre types forestiers et leur évolution biologique.

En résumé, l'analyse de la variance à un facteur nous fournit un moyen de différencier les quatre stations grâce à la moyenne de trois mesures du pH KCl dans les horizons supérieurs ($H_1 + H_2 + h$).

b) ANALYSE DE LA VARIANCE AVEC INTERACTION DANS LES HORIZONS MINÉRAUX

α) Nous reprenons le même problème que le cas précédent, c'est-à-dire le pH des horizons minéraux (3 et 4) permet-il de différencier les stations ?

β) Existe-t-il des différences entre les horizons 3 et 4 au sein d'une même station ?

γ) Les facteurs stations et horizons agissent-ils indépendamment ou non ? (cas d'interaction).

COMPARAISON DES MOYENNES

α) pH à l'eau.

La plus petite différence significative s'élève à 0,2739.

HORIZON 4					
IV — 4.423					NS
III — 4.431			NS		
II — 4.369		NS			
I — 4.353	NS				
	4.267	4.269	4.316	4.152	HORIZON 3
<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV	

β) *pH au KCl.*

La plus petite différence significative s'élève à 0,3915.

HORIZON 4

IV — 4.292				S
III — 4.048			NS	
II — 3.931		NS		
I — 3.797	NS			
	3.624	3.552	3.807	3.848
<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV

HORIZON 3

 γ) *pH à l'acétate.*

La plus petite différence significative s'élève à 0,1616.

HORIZON 4

IV — 6.134				S
III — 6.167			S	
II — 6.145		S		
I — 6.138	S			
	5.944	5.958	5.938	5.855
<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV

HORIZON 3

Conclusions :

a) A l'encontre des conclusions établies dans le cas précédent, nous ne pouvons rejeter, au seuil 0,05, l'hypothèse d'homogénéité des horizons minéraux dans les quatre stations, sous le rapport des trois formes de pH analysées.

b) La variance interhorizon et l'étude corrélatrice de la plus petite différence significative fournissent les résultats suivants :

- 1) pH à l'eau : cette mesure ne différencie aucune des stations.
- 2) pH au KCl : seuls les horizons 3 et 4 de la dernière station sont significativement distincts.
- 3) pH à l'acétate : celui-ci, possédant la variance la plus faible, différencie les horizons 3 et 4 de chacune des stations.

c) L'examen de l'interaction permet de déceler une divergence de comportement des pH CaAc^2 et pH H_2O comparés au pH KCl.

En effet, pour ce dernier, la relation d'additivité ne se vérifie pas : les effets « station » et « horizon » sur l'acidité d'échange ne peuvent être dissociés.

On sent nettement par cette enquête l'avantage d'un échantillonnage homogène de l'horizon supérieur, ce qui permettrait, dans une analyse à interaction, d'arriver à des conclusions plus fines.

Conclusions générales.

De ces trois formes de pH,

- 1) le pH à l'eau est la forme d'acidité la moins intéressante.
- 2) le pH au KCl sera retenu pour les horizons humifères;
- 3) le pH à l'acétate sera préféré pour la comparaison entre les horizons minéraux.

c) ETUDE DU pH DANS CHAQUE STATION :
COMPARAISON DES MOYENNES PAR HORIZON

Nous retrouvons ici le problème de l'analyse de la variance à un facteur : nous nous bornons à établir le tableau de la comparaison des moyennes, ainsi que les conclusions qui en découlent.

pH à l'eau.

VALEUR DES MOYENNES

	STATIONS			
	I	II	III	IV
H ₈	4.112	4.145	3.769	3.593
H ₃	4.267	4.269	4.316	4.152
H ₄	4.353	4.369	4.431	4.423

COMPARAISON DES MOYENNES DEUX A DEUX

	STATIONS			
	I	II	III	IV
H ₈ -H ₃	S	NS	S	S
H ₈ -H ₄	S	NS	S	S
H ₃ -H ₄	NS	NS	S	S

Dans les stations I, III et IV, nous constatons une différence significative entre les horizons considérés.

L'acidité réelle de la station II ne diffère pas significativement en profondeur.

Cependant, si nous comparons les moyennes par horizon entre I et II, nous lisons des chiffres pratiquement les mêmes : si l'analyse de la variance dégage des conclusions différentes, la raison doit être recherchée dans le nombre différent d'échantillons mis en comparaison, celui-ci étant moindre en II.

Dans la station I, nous constatons également que les horizons minéraux restent indifférenciés.

pH KCl.

VALEUR DES MOYENNES

	STATIONS			
	I	II	III	IV
H ₂	3.462	3.498	3.110	3.030
H ₃	3.624	3.553	3.807	3.842
H ₄	3.797	3.931	4.048	4.292

COMPARAISON DES MOYENNES DEUX A DEUX

	STATIONS			
	I	II	III	IV
H ₂ -H ₃	S	NS	S	S
H ₂ -H ₄	S	S	S	S
H ₃ -H ₄	S	S	S	S

pH Ac^2Ca .

VALEUR DES MOYENNES

	STATIONS			
	I	II	III	IV
H_8	5.745	5.697	5.563	5.485
H_3	5.944	5.958	5.938	5.855
H_4	6.138	6.145	6.167	6.134

COMPARAISON DES MOYENNES DEUX A DEUX

	STATIONS			
	I	II	III	IV
H_8-H_3	S	S	S	S
H_8-H_4	S	S	S	S
H_3-H_4	S	S	S	S

L'examen simultané des tableaux relatifs aux trois formes d'acidité contribue à renforcer les conclusions ci-devant établies.

a) Le pH H^2O constitue le facteur déterminant le moins intéressant parmi les trois formes de pH étudiées.

b) Le pH $CaAc^2$ donne les meilleurs résultats *suivant la verticale*, et avec le minimum de mesures si l'on tient compte du tableau suivant.

Nombre minimum de déterminations, par station, permettant d'apprécier le pH à 0,1 près.

	STATIONS			
	I	II	III	IV
pH H ₂ O	12	16	6	10
pH KCL	6	10	7	10
pH Ac ² Ca	4	4	7	8

2. — a) ANALYSE DE LA VARIANCE DE L'HYDROGENE ECHANGEABLE DANS LES HORIZONS SUPERIEURS

COMPARAISON DES MOYENNES

<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV
MOYENNES	22.4576	21.4950	31.7164	37.0425

I — 22.4576		NS	S	S
II — 21.4950	NS		S	S
III — 31.7164	S	S		NS
IV — 37.0425	S	S	NS	

Conclusions :

Le nombre minimum de déterminations nécessaires pour conserver le chiffre des unités est de l'ordre de 400, et de 17 pour 5 unités.

La comparaison des moyennes deux à deux permet de classer les quatre forêts en deux groupes (*) : le groupe des stations I et II et celui des stations III et IV, nettement séparés l'un de l'autre.

Cette distinction correspond au classement établi en fonction de l'état de dégradation du sol.

L'hydrogène échangeable apparaît donc comme un bon facteur discriminant des stations quant à leur évolution biologique, les fortes quantités indiquant des conditions défavorables à la belle hêtraie.

b) ANALYSE DE LA VARIANCE AVEC INTERACTION DANS LES SOLS MINÉRAUX. (**)

COMPARAISON DES MOYENNES

La plus petite différence significative s'élève à 2.2918.

HORIZON 4				
IV — 11.886				S
III — 9.533			S	
II — 7.389		NS		
I — 9.108	S			
	11.786	7.446	14.655	20.621
<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV
	HORIZON 3			

Conclusions :

Le tableau d'analyse de la variance permet d'observer une très faible erreur analytique, affirmant une précision satisfaisante de la méthode chimique de détermination.

(*) Nous arrivons aux mêmes conclusions pour les données de H₁ considérées séparément.

(**) Les calculs ont été établis en tenant compte de la double détermination au laboratoire : (à voir le tableau d'analyse de la variance correspondant p. 112).

Par l'étude de la plus petite différence significative, nous constatons :

1) L'horizon 3 distingue les stations l'une de l'autre.

2) Pour l'horizon 4, les divergences ne ressortent plus aussi nettement, car la première station ne diffère significativement ni de la seconde ni de la troisième.

3) Les valeurs de H_3 surpassant significativement celles de H_1 sauf dans la deuxième station.

Notons également que les stations dégradées (III et IV) révèlent une plus forte variation interhorizon que le festuceto-fagetum (I).

La relation d'additivité des stations et des horizons ne se vérifie pas. L'action des profils s'ajoutant à celle des horizons ou des stations.

Remarquons également que trois profils par station suffisent pour avoir une moyenne à une unité près.

En corollaire, l'étude de l'hydrogène échangeable, dans les horizons organiques, comme en profondeur, constitue un excellent diagnostic.

II. — ETUDE DE LA FRACTION ORGANIQUE

1) Nous avons ensuite appliqué la technique d'analyse de la variance aux résultats d'analyses chimiques de C (en %) de N (en %) et au rapport C/N.

Ceci nous a permis d'apprécier lequel des deux facteurs agit le plus efficacement sur les valeurs du rapport.

COMPARAISON DES MOYENNES PAR STATION DANS LES HORIZONS ORGANIQUES

a) *Carbone.*

STATIONS	I	II	III	IV
MOYENNES	4.8980	7.9450	9.2240	10.5710

I — 4.8980		NS	S	S
II — 7.9450	NS		NS	NS
III — 9.2240	S	NS		NS
IV — 10.5710	S	NS	NS	

Le nombre minimum de déterminations nécessaires pour conserver le chiffre des unités, au seuil 0,05, s'élève à 85.

b) *Azote*

Aucune différence entre les stations ne peut être considérée comme significative au seuil 0,05.

Le nombre minimum de déterminations nécessaires pour conserver le chiffre des unités s'élève à 46.

c) *C/N*

<u>STATIONS</u>	<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>
MOYENNES	10.8447	12.9050	16.3859	16.7960
I — 10.8447		NS	S	S
II — 12.9050	NS		NS	NS
III — 16.3859	S	NS		NS
IV — 16.7960	S	NS	NS	

Le nombre minimum de déterminations nécessaires, au seuil 0,05, s'élève à 192 (à l'unité près); à 49 (à deux unités près); à 22 (à trois unités près).

Conclusions :

1) Il découle de ce dernier tableau que seule la première station se distingue, au seuil de 5 %, de la troisième et de la dernière.

2) La moyenne des valeurs C/N de la hêtraie à fétuque de pente vaut 11 environ et se révèle la plus basse.

Cette valeur est l'indice d'une humification du type *mull*.

Celles des deux dernières stations ont des moyennes gravitant autour de 16 et s'affirment pratiquement identiques.

3) Dans la hêtraie à fétuque de plateau (II), la minéralisation se ralentit et cette station se place comme intermédiaire : au seuil 0,05, son rapport C/N ne se différencie toutefois pas des valeurs extrêmes.

4) Le rapport C/N donne bien une idée sur la nature de l'humification, mais malheureusement la variance résiduelle reste trop grande par rapport à la variance interstations pour permettre de particulariser les stations.

5) L'analyse de la variance appliquée aux valeurs du carbone donne des résultats parallèles aux conclusions fournies par l'étude de C/N.

6) Par contre, l'hypothèse d'homogénéité des valeurs fournies par l'azote ne peut être rejetée au seuil de 5 %.

7) Nous en induisons que ce sont les variations interstations de la teneur en carbone qui ont déterminé principalement celles de C/N dans les horizons organiques des sols ardennais étudiés.

Dans les horizons minéraux, nous pouvons nous attendre à priori à des conclusions moins nettes, car les analyses chimiques du carbone et de l'azote accusent des teneurs réduites à partir de l'horizon 3.

d) Carbone

La plus petite différence significative s'élève à 0.690.

HORIZON 4					
IV — 1.087					S
III — 0.860			S		
II — 0.916		S			
I — 0.674	S				
	1.361	1.800	1.775	2.105	HORIZON 3
<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV	

e) Azote

La plus petite différence significative s'élève à 0,599.

HORIZON 4

IV — 1.099				NS
III — 1.118			NS	
II — 1.109		NS		
I — 1.1083	S			
	1.728	1.675	1.412	1.631
<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV

HORIZON 3

f) C/N

La plus petite différence significative s'élève à 4,733.

HORIZON 4

IV — 9.601				NS
III — 7.637			NS	
II — 8.457		NS		
I — 6.040	NS			
	7.817	11.017	12.070	13.741
<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV

HORIZON 3

Conclusions :

a) L'étude du facteur C/N dans les horizons minéraux fournit les résultats suivants :

1) il existe des différences interhorizon valables au seuil 0,05.

2) La variance d'interaction des rapports C/N demeure trop élevée pour caractériser les stations et même les horizons minéraux de l'une d'entre elles.

b) L'examen des résultats d'analyse du carbone indique des différences significatives entre les horizons minéraux de toutes les stations au seuil 0,05 (*).

Nous constatons également, pour cette même probabilité d'inférence une différence significative entre la première et la dernière station.

c) Par contre, une seule différence peut être retenue des chiffres fournis par le dosage de l'azote.

2) L'HUMUS

*Etude du rapport humus peptisable
humus total/ dans l'horizon organique. (**)*

Le calcul des relations linéaires (à voir ci-après) justifie l'examen de ce rapport.

Horizons 1 + 2 + B.

Comparaison des moyennes deux à deux.

STATIONS	I	II	III	IV
MOYENNES	5.6506	4.3725	5.8814	9.5180

I — 5.6506		NS	NS	S
II — 4.3725	NS		NS	S
III — 5.8814	NS	NS		S
IV — 9.5180	S	S	S	

(*) En réalité, la différence entre les horizons minéraux de la station I est très légèrement inférieure à 0,690.

(**) La mauvaise reproductibilité de résultats d'analyse de l'humus peptisable dans les horizons minéraux n'a pas permis l'étude du rapport en profondeur.

Conclusions :

1) La station IV se distingue significativement des trois premières.

2) Les rapports testés présentent un « range » important, dont l'incidence se marque sur la variance résiduelle.

C'est pourquoi nous avons repris les calculs en les limitant aux constituants de l'horizon supérieur.

HORIZON 1				
<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV
MOYENNES	5.7460	4.3725	4.3517	8.2640
I — 5.7460		S	S	S
II — 4.3725	S		NS	S
III — 4.3517	S	NS		S
IV — 8.2640	S	S	S	

HORIZON 2				
<u>STATIONS</u>	I	II	III	IV
MOYENNES	6.1828	4.3725	6.2283	10.7720
I — 6.1828		NS	NS	S
II — 4.3725	NS		NS	S
III — 6.2283	NS	NS		S
IV — 10.7720	S	S	S	

Cet exemple laisse entrevoir non seulement l'intérêt de ce rapport comme facteur discriminant, mais aussi celui d'un échantillonnage plus homogène de l'horizon supérieur.

III. — RELATIONS LINEAIRES

L'intérêt de ce présent travail ne réside pas uniquement dans le test des divers facteurs étudiés séparément, mais également dans la recherche des relations pouvant exister entre eux.

Nous nous limitons, dans cette enquête, à l'étude des relations linéaires, et dans ce but, nous avons calculé les coefficients de régression et de corrélation linéaires.

1) RELATIONS LINEAIRES ENTRE LES DIVERS pH ET L'HYDROGENE ECHANGEABLE

a) pH H_2O — *hydrogène échangeable*

Valeur des coefficients

HORIZONS	STATIONS			
	I	II	III	IV
	$b_{xy} = -0,0197$	$-0,0330$	$-0,0017$	$-0,0094$
	$b_{yx} = -14,6166$	$-16,8396$	$-16,2231$	$-61,1850$
H_s	$r = -0,5361$	$-0,7454$	$-0,1500$	$-0,7583$
	$b_{xy} = -0,0158$	$0,0224$	$-0,0301$	$-0,0142$
	$b_{yx} = -8,6889$	$4,4270$	$-17,4296$	$-5,3692$
H_3	$r = -0,3705$	$0,0995$	$-0,7243$	$-0,2760$
	$b_{xy} = -0,0335$	$-0,0005$	$-0,0235$	$-0,0107$
	$b_{yx} = -15,7369$	$-0,1669$	$-26,5728$	$-8,3994$
H_4	$r = -0,7261$	$-0,01$	$-0,7902$	$-0,2997$

Test des b_{xy} par rapport à zéro (*)

HORIZONS	STATIONS			
	I	II	III	IV
	S	S	NS	S
	NS	NS	S	NS
H_4	S	NS	S	NS

(*) Le test des b_{yx} par rapport à zéro donne un tableau analogue.

b) pH KCl — hydrogène échangeable

Valeur des coefficients

HORIZONS

STATIONS				
	I	II	III	IV
H_2	bxy = — 0,0099	— 0,0080	— 0,0042	— 0,0067
	byx = —30,6574	—15,0594	—51,9757	—73,1611
	r = — 0,5509	— 0,3471	— 0,4672	— 0,7001
H_3	bxy = — 0,0145	0,0177	— 0,0415	— 0,0096
	byx = —18,6622	3,3658	—16,6138	— 1,7007
	r = — 0,5202	0,2441	— 0,8304	— 0,1277
H_4	bxy = — 0,0580	0,0039	— 0,0270	— 0,0109
	byx = —10,1840	0,4879	—13,0519	— 9,3115
	r = — 0,7686	0,0430	— 0,5936	— 0,3186

Test des bxy par rapport à zéro (*)

HORIZONS

STATIONS				
	I	II	III	IV
H_2	S	NS	S	S
H_3	NS	NS	S	NS
H_4	S	NS	NS	NS

(*) Le test des byx par rapport à zéro donne un tableau analogue.

c) pH Ac^2 Ca — hydrogène échangeable

Valeur des coefficients

STATIONS				
	I	II	III	IV
H_s	bxy = — 0,0066	— 0,0081	— 0,0131	— 0,0115
	byx = — 24,4086	— 43,0937	— 53,2551	— 73,7762
	r = — 0,4014	— 0,5908	— 0,8352	— 0,9208
H_3	bxy = — 0,0028	0,0119	— 0,0207	— 0,0061
	byx = — 3,1716	11,3803	— 33,0714	— 5,5903
	r = — 0,0943	0,3680	— 0,8274	— 0,1847
H_4	bxy = — 0,0323	— 0,0028	— 0,0277	— 0,0039
	byx = — 21,9983	— 0,7471	— 14,8729	— 6,1777
	r = — 0,8429	— 0,0458	— 0,6419	— 0,1552

Test des bxy par rapport à zéro

STATIONS				
	I	II	III	IV
H_s	NS	NS	S	S
H_3	NS	NS	S	NS
H_4	S	NS	S	NS

Nous constatons par l'examen des tableaux que les trois formes de pH accusent des résultats très voisins.

Les types de pH ne réagissent pas uniformément dans tous les horizons organiques, tandis que les relations linéaires sont pratiquement inexistantes dans les horizons inférieurs.

2) RELATIONS LINEAIRES ENTRE LE CARBONE ET L'HYDROGENE ECHANGEABLE

Valeur des coefficients

HORIZONS	STATIONS			
	I	II	III	IV
	bxy = 0,3280 byx = 2,5780 r = 0,9196	0,3710 1,5700 0,7622	0,4130 1,7200 0,8428	0,4100 2,0100 0,9078
	H _s			
	bxy = 0,0729 byx = 2,2737 r = 0,4071	0,0023 0,1885 0,0200	0,0556 5,2752 0,5316	0,0823 2,5662 0,4596
H ₃				
	bxy = 0,1048 byx = 4,4430 r = 0,6823	0,0316 0,7756 0,1565	0,0447 3,3505 0,3870	0,1088 2,7938 0,5514
	H ₄			

Test des coefficients de corrélation par rapport à zéro

HORIZONS	STATIONS				TEST χ^2
	I	II	III	IV	
	H _s	S	S	S	NS
	H ₃	NS	NS	NS	
	H ₄	S	NS	NS	

Conclusions :

Nous trouvons une seule relation linéaire significative dans les horizons minéraux.

Les résultats obtenus dans les horizons supérieurs suggèrent que cette forme d'acidité dérive en grande partie du carbone total.

En effet, les quatre coefficients de corrélation diffèrent significativement de zéro ; de plus, ils sont pratiquement identiques, ainsi que le montre le test d'homogénéité. (test χ^2)

L'observation semble confirmer la même conclusion à l'égard des coefficients de régression.

On peut penser que la partie organique dirigeant l'hydrogène échangeable est qualitativement la même d'une station à l'autre.

Cependant, comme nous observons déjà la présence de l'hydrogène échangeable quand le carbone manque totalement, nous estimons que ce fait nécessite des investigations ultérieures.

3) RELATIONS LINEAIRES ENTRE LE CARBONE ET L'AZOTE

Valeur des coefficients

STATIONS				
	I	II	III	IV
H_8	bxy = 1,1471	0,6476	0,7670	0,6560
	byx = 0,8685	1,4230	0,8440	1,4750
	r = 0,9981	0,9599	0,8045	0,9837
H_3	bxy = 0,8807	0,7028	0,6885	0,2398
	byx = 0,9752	0,6931	0,9324	1,5464
	r = 0,9267	0,6972	0,8052	0,6091
H_4	bxy = 0,5786	0,2331	0,4067	0,3427
	byx = 1,2128	0,5237	1,0890	1,4981
	r = 0,8377	0,3494	0,6655	0,7165

Test des coefficients de corrélation par rapport à zéro

STATIONS					TEST χ^2
	I	II	III	IV	
H_8	S	S	S	S	S sauf II et IV
H_3	S	S	S	NS	NS
H_4	S	NS	S	S	NS

Conclusions :

1) Horizons supérieurs

Nous observons des coefficients de corrélation très significativement différents de zéro, tous distincts l'un de l'autre sauf ceux des stations II et IV.

2) Horizons minéraux

Pour chacun des horizons, nous rencontrons une station où la relation n'apparaît pas significativement différente de zéro.

Toutefois, le test d'homogénéité des quatre coefficients de corrélation montre qu'ils forment une population unique par horizon.

3) Nous pouvons donc dire que pour les horizons étudiés le carbone et l'azote dépendent linéairement l'un de l'autre dans toutes les stations envisagées.

4) Les relations linéaires existant entre C et N démontrent l'utilité d'une étude de la variance du rapport C/N (exposé ci-dessus).

4) RELATIONS LINEAIRES HUMUS PEPTISABLE — HUMUS TOTAL

Valeur des coefficients

H _s	STATIONS			
	I	II	III	IV
	$b_{xy} = 13,4254$ $b_{yx} = 0,0612$ $r = 0,9064$	$19,7273$ $0,0451$ $0,9432$	$23,1973$ $0,0320$ $0,8616$	$12,7340$ $0,0645$ $0,9064$

Test des coefficients de corrélation par rapport à zéro

H _s	STATIONS				TEST χ^2
	I	II	III	IV	
	S	S	S	S	NS

L'existence de ces relations linéaires justifie l'étude de la variance du rapport humus peptisable/humus total, exposé ci-dessus.

5) RELATIONS LINEAIRES HUMUS PEPTISABLE — HYDROGENE ECHANGEABLE

Valeur des coefficients

H_s	STATIONS			
	I	II	III	IV
	bxy = 0,0927	0,0302	0,0211	0,0464
	byx = 19,5427	25,3002	21,4710	15,1184
	r = 0,7994	0,8741	0,6730	0,7015

Test des coefficients de corrélation par rapport à zéro

H_s	STATIONS				TEST χ^2
	I	II	III	IV	
	S'	/ S	S	S	NS

Les conclusions à tirer de ces relations sont parallèles à celles déduites des relations linéaires entre le carbone et l'hydrogène échangeable.

C. — CONCLUSIONS ET CONSIDERATIONS GENERALES

Cette enquête paraît un sondage efficace pour établir correctement le programme d'une recherche plus vaste.

Nous pouvons conclure dès à présent :

a) Tous les facteurs exigent une analyse propre.

b) Il y a lieu de rechercher les multiples relations pouvant exister entre eux et le nombre de profils nécessaires pour obtenir un résultat à une approximation donnée.

Nous pouvons nous appliquer dans des développements ultérieurs à déterminer si une analyse rapportée à un poids de terre possède réellement une signification écologique et s'il ne faut pas plutôt tendre vers l'obtention de rapports (C/N, HP/HT...) d'ailleurs déjà utilisés.

Nous étudierons ensuite l'opportunité de considérer des associations de facteurs (un peu comme le phytosociologue considère des associations de plantes).

Souhaitons dès à présent que dans les recherches pédologiques futures l'on introduise systématiquement les Principes et Expérimentations (Design of Experiment de Sir R. A. FISHER) les phases d'échantillonnage (Sampling) ainsi que l'analyse et la discussion biométriques des résultats obtenus.

ADDENDUM

- I. Relevés phytosociologiques.
- II. Tableau des profondeurs atteintes.
- III. Analyses granulométriques (0 — 2 m μ).
- IV. Analyses granulométriques (0 — 10 m μ).
- V. pH H²O.
- VI. pH KCl.
- VII. pH CaAc².
- VIII. Hydrogène échangeable.
- IX. Carbone.
- X. Azote.
- XI. C/N.
- XII. Matières humiques précipitables.
- XIII. M. H. P. M. H. T. %.
- XIV. Tableau d'analyse de la variance.

RELEVES PHYTOSOCIOLOGIQUES (*)

STATION I — Hêtraie à fêtuque de pente

S. A. — hauteur : 28 m. ; recouvrement : 85 %
 S. a. — » : 3-5 m. ; » : 20 %
 S. h. — ; » : 60 %.

S. A.	+	<i>Fagus silvatica</i> L.
3.1 <i>Fagus silvatica</i> L.	1.1	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.
1.1 <i>Acer pseudoplatanus</i> L.	+	<i>Epilobium spicatum</i> Lam.
S. a.	+	<i>Juncus effusus</i> L.
1.1 <i>Fagus silvatica</i> L.	+	<i>Sambucus racemosa</i> L.
S. h.	+	<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) Pal.
3.3 <i>Festuca silvatica</i> (Poll.) Vill.	+	<i>Digitalis purpurea</i>
2.3 <i>Dryopteris spinulosa</i> (Müll) O. K.	+	<i>Agrostis vulgaris</i> With.
2.3 <i>Luzula nemorosa</i> (Poll.) E. Mey.	+	<i>Lamium galeobdolon</i> (L.) Crantz.
1.1 <i>Rubus</i> sp.	+	<i>Epilobium montanum</i> L.
+ 2 <i>Oxalis acetosella</i> L.	S. m.	
+ <i>Athyrium Filix femina</i> (L.) Roth.	+ 3	<i>Polytrichum formosum</i> Hedw.
Plantules	+	<i>Catharinea undulata</i> (L.) Web. et Mohr.
+ <i>Salix aurita</i> L.	+	<i>Dicranella heteromalla</i> (Dill.) Schimp.

STATION II — Hêtraie à fêtuque de plateau

S. A. — hauteur : 20 m. ; recouvrement : 80 %
 S. a. — » : 5 m. ; » : 10 %
 S. h. — ; » : 75 %.

S. A.	+	<i>Dryopteris spinulosa</i> (Müll) O.K.
3.1 <i>Fagus silvatica</i> L.	+	<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) Pal.
2.1 <i>Quercus sessilis</i> Ehrh.	+	<i>Digitalis purpurea</i> L.
S. a.	+	
2.3 <i>Fagus silvatica</i> L.	+ 3	<i>Pteris aquilina</i> L.
S. h.	Plantules	
3.3 <i>Luzula nemorosa</i> (Poll.) E. Mey.	+	<i>Fagus silvatica</i> L. +
+ 1 <i>Festuca silvatica</i> (Poll.) Vill.	+	<i>Quercus sessilis</i> Ehrh.
1.3 <i>Juncus effusus</i> L.	+	<i>Salix aurita</i> L.
2.3 <i>Carex remota</i> L.	S. m.	
1.1 <i>Carex pallescens</i> L.	1.3	<i>Polytrichum formosum</i> Hedw.
+ <i>Epilobium spicatum</i> Lam.	+	
1.1 <i>Rubus</i> sp.	+ 3	<i>Dicranum scoparium</i> (L.) Hedw.
1.2 <i>Agrostis vulgaris</i> With.		

(*) Effectués par J. CALEMBERT.

STATION III — Hêtraie à myrtille

S. A. — hauteur : 15 m. ; recouvrement : 80 %
 S. a. — » : 8-10 m. ; » : 10 %
 S. h. — ; » : 80 %.

	S. A.	1.3	<i>Polytrichum formosum</i> Hedw.
3.1	<i>Fagus silvatica</i> L.	1.3	<i>Dicranum scoparium</i> (L.) Hedw.
2.1	<i>Quercus sessilis</i> Ehrh.	1.3	<i>Leucobryum glaucum</i>
	S. a.	1.3	<i>Dicranella heteromalla</i> (Dill.) Schimp.
1.1	<i>Fagus silvatica</i> L.		
	S. h.		Champignons
2.2	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	+	<i>Marasmus peronatus</i>
1.2	<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin.	+	<i>Cortinarius alboviolaceus</i>

STATION IV — Pessière sur chênaie à bouleau

S. A. f hauteur : 22 m. ; recouvrement : 75 %
 S. a. — » : 5-6 m. ; » : inférieur
 à 10 %
 S. h. — ; » : 40 %.

	S. A.	+	<i>Dicranella heteromalla</i> (Dill.) Schimp.
3.1	<i>Picea excelsa</i> planté (Lam.)	+	<i>Acer pseudoplatanus</i> L. (plantule)
2.1	<i>Quercus pedunculata</i> Ehr.	+	<i>Dicranum scoparium</i> (L.) Hedw.
1.1	<i>Fagus silvatica</i> L.	1.3	<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin.
	S. h.	+	<i>Molinia coerulea</i> Moe.
2.2	<i>Luzula nemorosa</i> (Poll.) E. Mey.	1.2	<i>Carex pilulifera</i> L.
+	<i>Fagus silvatica</i> (pl.) L.	+	<i>Picea excelsa</i> pl. (Lam.)
+ 2	<i>Oxalis acetosella</i> L.	+ 2	<i>Luzula maxima</i> D. C.
+	<i>Dryopteris spinulosa</i> (Müll) O. K.	+	<i>Polygonatum verticillatum</i> (L.) All.
1.2	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.		
1.3	<i>Polytrichum formosum</i> Hedw.		

TABLEAU II. PROFONDEURS ATTEINTES en cm

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	2-8	10-12	4-5	3-6	4	1-5-5	2	2-5	2-5	2-5
	H.2	8-12	12-15	5-7	5-8	6-8	8-5-13	4-6	2-5	2-5	2-5
	H.3	28-47	50-65	7-12	29-34	16-18	28-33	34-36	27-30	→ 40	17-20
	H.4	48-65		27-32	49-54	→ 40		→ 40	47-50	→ 40	→ 40
II	H.1	1-5	10	2-3	3	2-3	2-5	2	1-5	1-5	4-5
	H.2										
	H.3	16-23	35-40	17-18	20	14-18	27-30	12	16-23	16-23	24-30
	H.4.	36-43	→ 40	→ 40	→ 40	→ 40	→ 40	→ 40	36-43	36-43	→ 40
III	H.1	3	5	4	—	2-5	4	5	2-5	5-6	2-4
	H.2	4-8	10-13		—				8-10	8-10	12-16
	H.b	14-20		7	—		5-9	10	5-11	13-15	
	H.3	29-35	30-33	22	25	14-20	17-21	30	15-26	35	19-23
IV	H.4	49-55	→ 40	→ 40	40	40	→ 40	→ 40	→ 40	→ 40	→ 40
	H.1	2-3	3	8	2	5	5	8	6	2	3-4
	H.2	3-8	8	20	7	—	12-13	18-28	10	12	18-19
	H.3	18-23	23	40	27	—	27-33	38-48	28	—	30-41
	H.4	54	→ 40	50	→ 40	48	→ 40	→ 55	40	→ 40	→ 45

TABLEAU III.

Analyses granulométriques.

0 — 2 μ

Résultats en % terre fine séchée à l'air.

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	23.78	22.60	—	—	—	22.53	27.74	—	23.20	18.23
	H.2	22.90		30.84	20.89	—	21.88	26.20	—		
	H.3	21.76	19.92	21.75	22.04	23.40	16.93	13.95	14.00	9.61	13.89
	H.4	12.10	17.82	—	12.70	13.09	18.68	16.28	19.42	17.54	22.73
II	H.1	—	—	23.76	—	—	—	—	—	—	—
	H.2	—	—		—	—	—	—	—	—	—
	H.3	19.41	17.61	19.35	25.45	24.78	23.40	21.64	20.35	18.18	16.61
	H.4	25.26	21.65	24.50	28.98	23.74	21.05	21.70	22.25	29.40	22.47
III	H.1	—	—	—	24.07	—	—	—	—	—	—
	H.2	25.90	26.74	—		—	—	—	30.69	23.42	22.91
	Hb	25.26		29.31	28.08	—	26.15	22.92		27.75	
	H.3	23.08	29.86	30.73	29.84	27.07	24.81	34.12	35.45	25.32	—
	H.4	28.49	22.78	25.69	33.76	28.13	27.68	26.48	20.12	27.16	29.39
IV	H.1	—	—	—	—	—	—	—	23.76	—	—
	H.2	26.68	22.99	16.47	23.05	24.20	25.83	21.79	20.47	22.72	18.64
	H.3	25.55	22.58	22.66	16.70	25.73	25.87	24.41	28.80	17.88	17.05
	H.4	21.43	12.38	16.90	20.42	22.07	21.06	22.76	18.20	10.33	22.22

TABLEAU IV.

Analyses granulométriques.

0 10 20

En % de terre fine séchée à l'air.

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	40.65	37.46	—	—	—	41.14	44.62	—	41.62	33.00
	H.2	39.60		40.38	41.05	—	40.84	44.51	—		
	H.3	36.79	39.34	41.16	42.25	41.88	38.16	36.16	35.51	32.06	36.13
	H.4	22.52	32.83	—	34.61	34.74	40.11	38.45	38.84	40.11	41.01
II	H.1	—	—	43.76	—	—	—	—	—	—	—
	H.2	—	—		—	—	—	—	—	—	—
	H.3	37.80	34.45	34.58	43.77	43.88	37.95	36.51	38.15	35.45	30.89
	H.4	42.52	37.26	42.41	40.41	40.66	34.79	42.38	36.09	44.36	39.01
III	H.1	—	—	—	49.70	—	—	—	—	—	—
	H.2	50.72	46.87	—		—	—	—	56.05	46.83	49.11
	Hb	44.48		49.03	51.30	—	42.29	45.30		47.47	
	H.3	39.09	50.57	40.53	43.26	47.95	48.09	55.98	55.82	46.05	—
IV	H.4	50.49	31.58	43.21	53.60	51.33	49.59	48.51	50.57	45.63	49.92
	H.1	—	—	—	—	—	—	—	43.99	—	—
	H.2	40.81	40.42	42.12	37.81	42.63	43.93	39.94	42.61	42.93	36.75
	H.3	39.37	39.11	43.45	40.95	41.92	43.78	45.02	47.10	40.82	38.54
	H.4	41.20	27.24	39.03	38.79	43.11	43.15	39.15	38.48	20.66	40.01

pH H₂O

TABLEAU V.

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	4.40	4.02	4.11	3.81	3.58	4.45	4.19	{ 4.22 }	{ 4.19 }	{ 4.12 }
	H.2	4.18	4.20	4.22	4.19	3.69	4.23	4.11			
	H.3	4.38	4.30	4.30	4.31	4.10	4.31	4.26	4.30	4.42	4.25
	H.4	4.51	4.38	4.39	4.37	4.25	4.39	4.40	4.41	4.34	4.20
II	H.1	{ 4.20 }	{ 3.60 }	{ 3.89 }	{ 4.30 }	{ 4.10 }	{ 4.31 }	{ 4.37 }	{ 4.48 }	{ 4.39 }	{ 3.81 }
	H.2										
	H.3	4.30	4.64	4.12	4.29	4.19	4.32	4.38	4.21	4.22	4.02
	H.4	4.28	4.41	4.52	4.40	4.40	4.41	4.45	4.21	4.31	4.30
III	H.1	3.92	3.61	{ 3.61 }	3.79	{ 3.92 }	{ 3.70 }	{ 3.60 }	3.84	3.70	3.73
	H.2	3.80	{ 3.80 }		3.79				{ 3.70 }	3.69	{ 3.71 }
	H.b	3.87		3.79	4.00		3.88	3.76		3.71	
	H.3	4.60	4.31	4.42	4.40	4.38	4.21	1.20	4.28	4.38	3.98
	H.4	4.43	4.53	4.50	4.40	4.43	4.33	4.40	4.52	4.46	4.31
IV	H.1	3.59	3.49	3.59	3.50	3.09	3.37	3.47	3.70	3.71	3.41
	H.2	3.78	3.69	3.81	3.74	3.59	3.60	3.49	3.80	3.68	3.76
	H.3	4.39	4.21	4.01	4.26	4.00	4.00	3.92	4.12	4.28	4.30
	H.4	4.42	4.52	4.30	4.50	4.45	4.25	4.40	4.46	4.47	4.46

pH KCl

TABLEAU VI.

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	3.60	3.50	3.50	3.50	3.19	3.52	3.48	{ 3.51 }	{ 3.35 }	{ 3.42 }
	H.2	3.55	3.52	3.53	3.60	3.21	3.46	3.40			
	H.3	3.72	3.65	3.69	3.63	3.50	3.60	3.61	3.66	3.59	3.59
	H.4	4.10	3.87	3.60	3.83	3.67	3.95	3.78	3.77	3.80	3.59
II	H.1	{ 3.48 }	{ 3.34 }	{ 3.26 }	{ 3.47 }	{ 3.47 }	{ 3.61 }	{ 3.67 }	{ 3.60 }	{ 3.53 }	{ 3.30 }
	H.2										
	H.3	3.48	3.70	3.31	3.50	3.48	3.90	3.70	3.54	3.52	3.40
	H.4	3.91	3.88	4.05	3.91	4.04	4.24	3.80	3.73	3.93	3.82
III	H.1	3.06	3.00	{ 3.05 }	3.06	{ 3.20 }	{ 3.07 }	{ 3.07 }	3.01	3.01	3.10
	H.2	3.03	{ 3.19 }		3.05				{ 3.22 }	{ 3.01 }	{ 3.12 }
	H.b	4.29	3.20	3.20		3.18	3.10				
	H.3	4.00	3.93	4.07	3.80	3.82	3.70	3.70	3.72	3.95	3.38
IV	H.4	3.98	4.11	4.12	3.98	4.20	3.90	3.95	4.20	4.12	3.92
	H.1	3.00	2.92	2.94	2.95	2.80	2.86	2.82	3.10	3.05	2.86
	H.2	3.20	3.17	3.27	3.15	2.95	3.08	3.01	3.25	3.13	3.04
	H.3	3.90	3.88	3.70	3.98	3.79	3.65	3.41	3.72	4.00	4.15
	H.4	4.21	4.34	4.22	4.29	4.30	4.20	4.21	4.32	4.43	4.40

pH CaAc²

TABLEAU VII.

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	5.88	5.63	5.69	5.63	5.73	5.77	5.61	{ 5.70 }	{ 5.77 }	{ 5.79 }
	H.2	5.91	5.89	5.75	5.90	5.61	5.71	5.70			
	H.3	6.00	6.03	5.98	5.82	5.93	5.94	5.91	6.00	5.90	5.93
	H.4	6.20	6.25	6.02	6.14	6.00	6.21	6.14	6.17	6.16	6.09
II	H.1	{ 5.67 }	{ 5.61 }	{ 5.73 }	{ 5.80 }	{ 5.76 }	{ 5.67 }	{ 5.81 }	{ 5.71 }	{ 5.70 }	{ 5.51 }
	H.2										
	H.3	6.00	6.09	5.91	5.93	5.92	6.09	5.91	5.94	5.89	5.90
	H.4	6.11	6.15	6.30	6.18	6.21	6.28	6.12	6.00	6.10	6.00
III	H.1	5.46	5.42	{ 5.50 }	5.40	{ 5.53 }	{ 5.50 }	{ 5.48 }	5.33	5.32	5.50
	H.2	5.69	5.70		{ 5.98 }				{ 5.53 }	{ 5.60 }	
	Hb	5.66	5.62	5.69		5.60	5.63				
	H.3	5.99	5.99	6.09	5.97	5.98	5.95	5.88	5.89	5.93	5.71
IV	H.4	6.11	6.20	6.26	6.12	6.30	6.10	6.15	6.20	6.29	5.94
	H.1	5.21	5.35	5.40	5.30	5.20	5.28	5.35	5.60	5.62	5.25
	H.2	5.45	5.62	5.72	5.60	5.50	5.52	5.71	5.70	5.60	5.72
	H.3	5.81	5.75	5.80	6.01	5.89	5.79	5.70	5.90	5.89	6.01
	H.4	6.11	6.20	6.09	6.22	6.20	6.08	6.18	6.07	6.13	6.06

TABLEAU VIII.

HYDROGENE ECHANGEABLE

m. é. q. pour 100 g de terre fine.

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	17.67	24.46	24.74	26.03	41.80	27.25	26.91	{ 21.69 }	{ 22.31 }	{ 21.32 }
	H.2	16.08	17.78	14.00	17.64	19.42	17.81	23.51			
	H.3	9.85	10.52	13.38	11.98	15.79	12.98	8.20	12.02	11.91	11.21
	H.4	5.55	7.00	10.17	10.05	13.13	7.46	9.91	8.42	9.75	9.62
II	H.1	{ 23.30 }	{ 35.14 }	{ 20.14 }	{ 16.77 }	{ 19.52 }	{ 21.36 }	{ 20.17 }	{ 21.44 }	{ 9.97 }	{ 27.14 }
	H.2										
	H.3	7.83	8.11	6.18	11.27	10.49	9.38	5.78	4.77	5.87	4.75
	H.4	8.11	7.26	4.03	8.56	8.65	7.74	9.04	4.94	8.02	7.17
III	H.1	37.43	39.74	{ 31.15 }	45.43	{ 35.27 }	{ 34.12 }	{ 36.13 }	52.79	49.53	33.75
	H.2	19.76	{ 19.65 }		18.47				{ 25.60 }	{ 33.42 }	{ 23.97 }
	Hb	27.13	24.62	23.67		30.12	23.21				
	H.3	11.12	10.61	11.22	14.50	12.55	13.58	18.79	20.67	12.64	20.86
IV	H.4	10.99	4.47	7.42	12.12	8.67	10.53	8.65	8.45	10.29	13.49
	H.1	62.83	47.63	35.32	46.42	64.90	47.51	36.37	24.39	37.12	64.25
	H.2	36.82	24.60	18.97	29.50	34.18	35.15	25.29	20.15	25.86	23.00
	H.3	15.45	21.71	17.46	17.77	20.25	22.55	24.32	19.44	25.21	22.04
	H.4	15.42	13.73	10.20	11.23	9.03	16.10	10.60	10.27	12.06	10.30

en % de terre fine séchée à l'air.

CARBONE

TABLEAU IX.

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	3.53	5.46	6.46	3.77	11.45	5.96	7.04	5.01	5.56	4.84
	H.2	2.17	2.65	3.19	2.57	5.21	3.38	5.04			
	H.3	1.17	1.18	1.41	1.72	2.04	1.42	1.62	0.91	1.35	0.81
	H.4	0.37	0.76	0.67	1.06	1.38	0.61	0.59	0.35	0.47	0.49
II	H.1	7.66	12.74	6.34	4.19	4.94	7.55	6.42	9.06	6.59	13.98
	H.2										
	H.3	1.58	2.33	1.79	1.65	2.03	1.51	2.05	1.75	1.59	1.72
	H.4	0.94	0.98	0.38	0.65	0.67	0.60	1.13	1.21	1.19	1.43
III	H.1	14.53	17.06	12.81	14.84		9.35	13.07	15.36	18.41	9.64
	H.2	5.68			6.69	10.07				8.17	
	H.b	3.55	5.64	4.73	4.51		5.85	4.64	8.19	4.75	5.39
	H.3	1.48	1.45	1.64	1.35	2.34	1.36	1.64	2.37	1.88	2.27
IV	H.4	0.57	0.48	0.89	0.82	0.90	0.61	0.70	1.31	1.02	1.32
	H.1	20.44	14.44	11.45	14.00	23.61	23.00	10.92	6.77	12.84	19.16
	H.2	5.98	5.66	3.91	5.71	6.49	6.14	5.66	3.97	5.99	5.30
	H.3	1.56	3.03	2.77	1.78	2.13	2.69	2.92	1.58	2.17	1.83
	H.4	1.36	1.23	1.84	1.01	0.65	1.77	0.53	1.14	0.82	0.52

En % de terre fine séchée à l'air.

AZOTE

TABLEAU X.

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	3.45	4.88	5.48	5.22	10.90	4.93	5.62	4.12	4.76	4.02
	H.2	2.59	2.71	3.01	2.94	4.39	2.83	4.33			
	H.3	1.44	1.36	1.84	2.08	2.46	1.66	1.86	1.55	1.72	1.31
	H.4	0.75	0.90	1.11	1.30	1.55	1.04	1.06	0.98	1.19	0.96
II	H.1	6.81	9.12	4.34	3.26	3.77	5.61	5.17	7.56	6.10	9.54
	H.2										
	H.3	1.71	2.11	1.51	1.29	1.88	1.53	1.63	1.31	1.38	2.42
	H.4	1.27	1.28	0.83	1.31	1.08	0.87	1.27	1.17	0.72	1.29
III	H.1	10.02	9.67	8.58	12.62		6.07	8.81	13.41	12.38	5.35
	H.2	2.92			3.43	7.60				4.19	
	Hb	2.45	2.68	3.38	2.33		3.30	2.83	4.40	2.97	3.04
	H.3	1.16	1.20	1.41	1.12	1.35	1.01	1.41	1.87	1.46	2.14
IV	H.4	1.08	0.88	0.94	1.00	1.06	1.30	1.00	1.38	1.20	1.35
	H.1	13.05	9.37	7.70	9.80	13.11	15.16	7.44	4.47	7.01	13.81
	H.2	4.09	2.53	1.89	3.42	3.72	4.12	3.68	2.05	2.97	2.79
	H.3	1.28	1.89	1.57	1.49	1.41	1.89	1.77	1.76	1.83	1.43
	H.4	1.21	1.33	1.19	0.94	0.88	1.66	1.01	1.06	0.91	0.82

TABLEAU XI. C/N

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	10.23	11.17	11.79	7.21	10.51	12.09	12.51	12.17	11.68	12.04
	H.2	8.39	9.75	10.61	8.76	11.87	11.96	11.62			
	H.3	8.12	8.67	7.65	8.25	8.30	8.57	8.70	5.88	7.84	6.19
	H.4	4.85	8.39	6.06	8.18	8.86	5.88	5.58	3.56	3.99	5.05
II	H.1	11.26	13.96	14.60	12.82	13.12	13.45	12.42	11.98	10.79	14.65
	H.2										
	H.3	9.21	11.05	11.87	12.80	10.78	9.91	12.55	13.40	11.48	7.12
	H.4	7.41	7.60	4.56	4.97	6.22	6.85	8.87	10.32	16.65	11.12
III	H.1	14.50	17.64	14.93	11.76		15.41	14.83	11.46	14.87	18.02
	H.2	19.41	21.03		19.52	13.26			18.60	19.50	17.74
	Hb	14.52		13.97	19.38		17.71	16.43		16.00	
	H.3	12.85	12.05	11.62	11.99	17.30	13.51	11.61	12.66	12.87	10.56
IV	H.4	5.24	5.47	9.51	8.23	8.50	4.66	6.94	9.53	8.57	9.72
	H.1	15.66	15.41	14.86	14.28	18.00	15.17	14.66	15.15	18.31	13.88
	H.2	14.63	22.34	20.63	16.67	17.46	14.91	15.38	19.39	20.14	18.99
	H.3	12.22	16.03	17.67	11.93	15.15	14.22	16.57	8.97	11.90	12.75
	H.4	11.29	9.22	15.42	10.69	7.40	10.65	5.24	10.77	9.00	6.33

TABLEAU XIII.
Matières humiques précipitables $\frac{\%}{\text{Matières humiques totales}}$

Stations	Horizons	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
I	H.1	4.92	4.36	5.11	6.93	5.98	5.83	7.09	{ 4.17 }	{ 4.79 }	{ 3.60 }
	H.2	8.27	5.03	4.97	4.73	6.90	5.15	8.29			
II	H.1	{ 5.38 }	{ 4.91 }	{ 3.94 }			{ 4.53 }	{ 4.16 }	{ 4.16 }	{ 3.88 }	{ 4.02 }
	H.2										
III	H.1	3.67	4.18	{ 5.66 }	4.42	{ 4.60 }	{ 4.84 }	{ 4.30 }	4.07	5.14	4.63
	H.2	7.05	3.90		{ 4.60 }				7.60	{ 7.32 }	
		7.51	5.77	6.82		8.13	9.37	8.91			
IV	H.1	7.11	8.41	10.00	9.27	7.61	7.91	11.20	7.38	7.47	6.28
	H.2	10.40	12.80	6.10	9.45	16.30	12.59	16.00	5.12	9.42	9.54

XIV. TABLEAUX D'ANALYSE DE LA VARIANCE

I. PROBLEMES RELATIFS A L'ETUDE DE L'ACIDITE

1) a) *Comparaison des moyennes par station des valeurs pH pour l'horizon supérieur.*

α) pH à l'eau

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Entre stations	3	3,4999	1,1666	31,3602 **
Résiduelle	65	2,4181	0,0372	
Totale	68	5,9180		

β) pH au KCl

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Entre stations	3	3,1299	1,0433	121,3139 **
Résiduelle	65	0,5577	0,0086	
Totale	68	3,6876		

γ) pH à l'acétate

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Entre stations	3	0,7583	0,2528	12,4532 **
Résiduelle	65	1,3182	0,0203	
Totale	68	2,0765		

b) *Analyse de la variance avec interaction dans les horizons minéraux*

α) pH à l'eau

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Stations	3	0,0798	0,0266	0,7170
Horizons	1	0,4089	0,4089	11,0215 *
Interaction	3	0,1114	0,0371	2,4733
Erreur résiduelle . . .	72	1,0796	0,0150	
Totale	79	1,6797		

β) pH au KCl

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Stations	3	1,6981	0,5660	7,4769
Horizons	1	1,9096	1,9096	25,2259 *
Interaction	3	0,2271	0,9757	3,1152 *
Erreur résiduelle . . .	72	1,7493	0,0243	
Totale	79	5,1299		

γ) pH à l'acétate

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Stations	3	0,0329	0,0110	0,8527
Horizons	1	0,9757	0,9757	75,6356 *
Interaction	3	0,0387	0,0129	1,6538
Erreur résiduelle . . .	72	0,5624	0,0078	
Totale	79	1,6097		

2) *L'Hydrogène échangeable*a) *Comparaison des moyennes pour l'horizon supérieur*

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Entre stations	3	2729,7354	909,9118	8,6712 *
Résiduelle	65	6820,7599	104,9347	
Totale	68	9550,4953		

b) *Analyse de la variance avec interaction dans les horizons minéraux*

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Stations	3	1629,2233	543,0744	39,80 **
Horizons	1	688,2598	688,2598	50,43 **
Interaction (S.H.) . .	3	408,7259	136,2419	9,98 **
Variation Résiduelle pédologique	72	982,5581	13,6466	
Variation analytique . .	80	17,9954	0,2249	
Totale	159	3726,7624	1381,4476	

II. ETUDE DE LA FRACTION ORGANIQUE

1. Le Carbone et l'Azote

Analyse de la variance dans l'horizon supérieur

a) Le Carbone

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Entre stations	3	319,8195	106,6000	4,99 **
Résiduelle	65	1.387,5807	21,3500	
Totale	68	1.707,4002		

b) L'Azote

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Entre stations	3	44,0876	14,6950	1,27
Résiduelle	65	750,0196	11,5380	
Totale	68	794,1072		

c) Le rapport Carbone-Azote

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Entre stations	3	435,4528	145,1509	2,99 *
Résiduelle	65	315,4952	48,5377	
Totale	68	750,9480		

Analyse de la variance dans les horizons inférieurs

d) Carbone

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Stations	3	3,3851	1,1284	4,7590 **
Horizons	1	15,3739	15,3739	64,8414 **
Interaction	3	0,2844	0,0948	< 1
Erreur résiduelle	72	17,0725	0,2371	
Totale	79	36,1160		

e) Azote

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Stations	3	0,1854	0,0614	< 1
Horizons	1	5,1297	5,1297	38,5690 **
Interaction	3	0,3992	0,1330	2,5430
Erreur résiduelle	72	3,7650	0,0523	
Totale	79	9,4793		

f) Carbone/Azote

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Stations	3	235,4265	78,4755	7,0929
Horizons	1	229,2322	229,2322	20,7180 *
Interaction	3	33,1919	11,0640	2,0502
Erreur résiduelle . . .	72	388,5346	5,3963	
Totale	79	886,3852		

2) L'Humus

Analyse de la variance dans l'horizon supérieur ($H_1 + H_2 + b$)
du rapport (HP / HT)

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Entre stations	3	235,6723	78,5574	18,1917 *
Résiduelle	63	272,0528	4,3183	
Totale	66	507,7252		

Le même rapport dans l'horizon H_1

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Entre stations	3	89,0731	29,6910	27,2590 **
Résiduelle	27	29,4155	1,0895	
Totale	30	118,4886		

Le même rapport dans l'horizon H_2

Source de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Variance	F.
Résiduelle	3	204,4497	68,1499	11,9475 **
Totale	27	153,9993	5,7036	
Entre stations	30	358,4602		

Influence de l'augmentation linéaire de la température sur les variations de masse des oxalates alcalins

par

Pierre H. MARTENS

La littérature indique que sous l'influence de la calcination, les oxalates potassiques et sodiques se décomposent en donnant des carbonates, de l'oxyde de carbone et éventuellement de l'anhydride carbonique et de l'eau. Les brefs renseignements qu'on rencontre manquent d'indications sur les températures de décomposition (3, 8, 9).

Nos essais sont effectués au moyen d'une thermo-balance de CHEVENARD (2) (Fabrication Adamel) et montrent que les différents stades de la décomposition peuvent être nettement déterminés. Nous consignons nos résultats dans les lignes suivantes; les précautions à prendre ont été suffisamment décrites par GUICHARD (7) et son école et appliquées sur une large échelle par DUVAL (5) et ses collaborateurs.

1. *L'acide oxalique* : (Acidum oxalicum pro analysi de MERCK)
 $\text{H}^2(\text{COO} - \text{COO}). 2\text{H}_2\text{O}$.

350 milligrammes d'acide oxalique pur, finement pulvérisé, sont chauffés en creuset de porcelaine à la vitesse de 150°C par heure (Fig. 1, courbe 4, page 132).

Dès 40° se marque le commencement de la déshydratation : la perte de masse est appréciable à 50° .

A 122° la courbe s'infléchit : l'inflexion correspond à l'élimination de l'eau de cristallisation. Le poids tombe ensuite rapidement : sublimation et décomposition se superposent ; à 270° le creuset ne contient plus qu'une trace noirâtre de carbone.

D'après GRIGNARD (6) l'acide oxalique cristallisé, fusible à $101,5^\circ$, se sublime au-dessus de 100° en se déshydratant : BEILSTEIN (1) renseigne que l'acide cristallisé se sublime fort à 125° et le mieux à 177° .

GRIGNARD (6) donne 160° comme température du commencement de décomposition de l'acide anhydre, fusible à 186-187° et rapporte qu'il

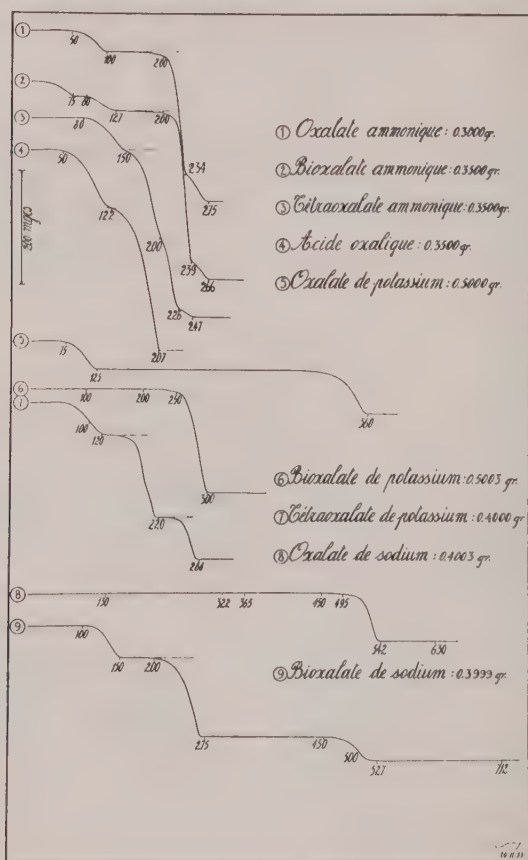
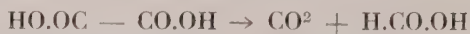
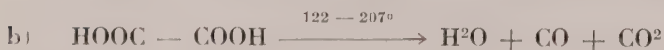
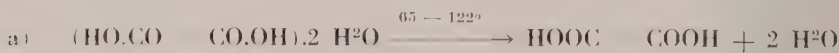


Fig. 1. — Courbes de pyrolyse.

a été démontré que la décomposition s'effectue avec formation intermédiaire d'acide formique d'après l'équation :



En fait la thermobalance n'accuse que deux décompositions correspondant aux équations :



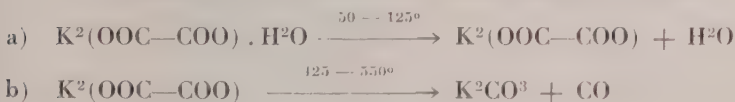
2. *L'oxalate de potassium* : (Kalium oxalicum de MERCK)
 $\text{KOOC} - \text{COOK} \cdot \text{H}^2\text{O}$

500 milligrammes de sel, finement pulvérisé, sont chauffés en creuset de porcelaine à la vitesse de 150° par heure (Courbe 5).

Le sel est stable jusque 50°, température à laquelle commence la déshydratation.

Le sel anhydre est obtenu à 115° ; il est stable jusque 425° ; sa décomposition en carbonate est terminée à 550° : la perte de masse correspond à l'élimination de CO .

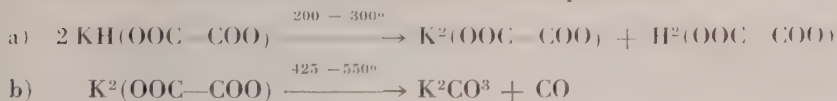
La thermobalance accuse les deux décompositions suivantes :



3. *Le bioxalate de potassium* (Préparé au laboratoire) : $\text{KOOC} - \text{COOH}$

500,3 milligrammes de matière chauffée comme plus haut indiquent que le sel est stable jusque 200°. La décomposition qui suit, rapide à 255°, est terminée à 300° : le résidu est de l'oxalate neutre de potassium qui se décompose ensuite comme il a été dit (Courbe 6).

La thermobalance accuse donc les deux décompositions :



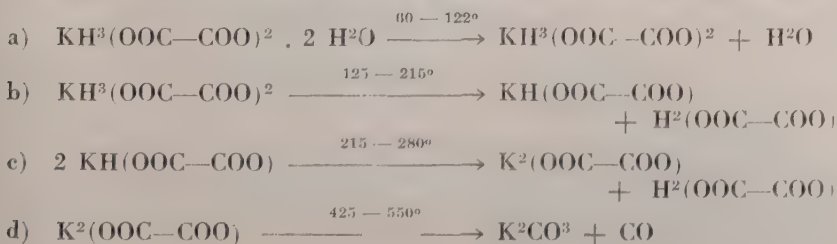
Le sel d'oseille fut utilisé en 1773 pour la préparation de l'acide oxalique par distillation sèche [GRIGNARD (6)].

4. *Le tétraoxalate de potassium* (Kalium tétraoxalicum de MERCK)
 $\text{KH}^3(\text{OOC}-\text{COO})^2 \cdot 2 \text{H}^2\text{O}$

400 milligrammes de matière sont chauffés comme plus haut (courbe 7).

La déshydratation s'amorce dès 60° ; à 122° s'indique une nouvelle chute de poids qui, intense vers 150°, marque une légère inflexion vers 165° et se termine à 215° : le résidu est du bioxalate de potassium dont la décomposition s'effectue dans la suite comme il a été dit.

La thermobalance accuse donc les diverses décompositions successives :



5. *Oxalate de sodium de SØRENSEN* : (Natrium oxalicum pro analysi de MERCK) $\text{Na}^2(\text{COO}-\text{COO})$.

Une prise d'essai de 400,3 mgrs résiste à la décomposition jusque 450° ; à 542° la décomposition est terminée suivant l'équation :

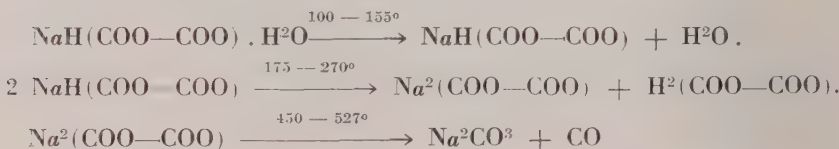


6. *Le bioxalate de sodium* (préparé au laboratoire) : $\text{NaH}(\text{COO}-\text{COO}) \cdot \text{H}^2\text{O}$

La prise d'essai de 399,9 mgrs garde la constance de son poids jusque 100° , température à laquelle elle commence à se déshydrater. A 155° on obtient un court palier ($155-175^\circ$) correspondant au bioxalate anhydre. (Courbe 9.)

La décomposition de ce dernier devient rapide à 200° et est terminée à 270° ; on obtient l'oxalate neutre qui se décompose ensuite comme il a été dit plus haut.

La thermobalance accuse les décompositions suivantes :

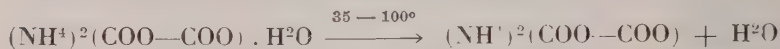


7. *L'oxalate ammonique neutre* (Ammonium oxalicum de RIEDEL). $(\text{NH}^1)^2(\text{COO}-\text{COO}) \cdot \text{H}^2\text{O}$

Pour une prise d'essai de 300 mgrs, la déshydratation commence à 35° , elle est terminée à 100° . (Courbe 1)

On observe alors un court palier horizontal jusque 130° ; commence alors une décomposition qui devient rapide à 205° , marque un changement d'allure à 234° . A 275° le creuset renferme un résidu noir de carbone (2,9 mgrs.)

La thermobalance accuse nettement la décomposition suivante :



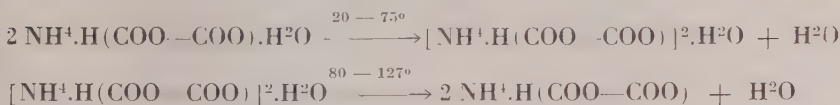
Les autres décompositions successives ou simultanées ne laissent pas apparaître un caractère quantitatif ; il se peut que le changement d'allure de la courbe à la température de 234° marque une transformation de l'oxalate ammonique en oxamide signalée par DUMAS (4).

8. *Le bioxalate ammonique* (préparé au laboratoire) : $\text{NH}^1 \cdot \text{H}(\text{COO}-\text{COO}) \cdot \text{H}^2\text{O}$

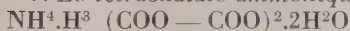
Pour une prise d'essai de 350 mgrs, la déshydratation se marque dès le commencement du chauffage ; à 75° apparaît un palier correspondant au sel $\text{NH}^1 \cdot \text{HC}^2\text{O}^4 \cdot 1/2 \text{H}^2\text{O}$ qui dès 80° se déshydrate pour fournir à 127° le sel anhydre. (Courbe 2).

A 150° le sel anhydre se décompose lentement, puis rapidement à 200°. Aux points 239 et 264° on observe deux changements d'allure dans la courbe. Le poids constant n'est obtenu qu'à 420°.

On observe nettement les réactions suivantes :

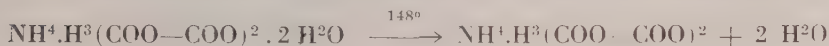


9. *Le tétraoxalate ammonique* (préparé au laboratoire) :



Pour une prise d'essai de 350 mgrs on observe une déflexion à 80° : celle-ci est suivie d'une première inflexion, correspondant au sel anhydre, à 150° ; puis vient une seconde inflexion, moins marquée et non expliquée, à 203°, que suivent deux changements d'allure à 226 et 247°, semblables à ceux qui furent constatés pour l'oxalate neutre.

La thermobalance marque une inflexion correspondant à la réaction :



Conclusions.

L'étude des oxalates alcalins au moyen de la thermobalance permet d'apprécier par les courbes de thermolyse les différents stades de leur décomposition.

Les oxalates de potassium et de sodium se déshydratent, se transforment en oxalate neutre par élimination d'acide oxalique ou d'anhydride carbonique, oxyde de carbone et eau, puis en carbonate par élimination d'oxyde de carbone.

Les oxalates ammoniques se volatilisent progressivement : on observe un stade de déshydratation suivi de stades de décomposition : il apparaît en fin de chauffage une branche de courbe indiquant la formation d'un corps qui n'a pas été caractérisé.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- 1) BEILSTEIN : Handbuch der organischen Chemie, 4^e Auflage, Band II, S. 502.
- 2) CHEVENARD, P., WACHE, X. et de la TULLAYE : Bull. Soc. Chim. Fr. (5) 2 - (1943) - p. 400.
- 3) de KONINCK, L. L. : Traité de chimie analytique minérale, Vaillant-Carmanne, Liège 1912.
- 4) DUMAS : Ann. Chim. (2) 44 - (1830) - p. 130.

- 5) DUVAL, Cl. : *Anal. Chim. Acta. Années 1947 et suivantes.*
Id. : *Inorganic thermogravimetric analysis.* Elsevier Publishing C^o. Amsterdam 1953.
- 6) GRIGNARD : *Traité de chimie organique.* Masson, Paris 1939, pp. 165 et 169.
- 7) GUICHARD, M. : *Bull. Soc. Chim. Fr.* (5) 2 - (1935) - p. 539; (5) 2 - (1938) - p. 675; (5) 11 - (1943) - p. 63.
- 8) KOLTHOFF, I. M. et SANDELL, E. B. : *Textbook of quantitative inorganic analysis.* MacMillan C^o, London 1950.
- 9) KOLTHOFF, I. M. et STENGER, V. A. : *Volumetric analysis.* Interscience Publisher, New-York, 1947.

Gembloux, novembre 1953.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Anwendung der Chevenard Thermowaage hat es möglich gemacht, den Zustand der alkalischen Oxalate unter dem Temperaturerhöhungseinfluss zu beobachten und die Temperaturen seiner Zersetzungen genau zu bestimmen.

SUMMARY

The use of the Chevenard thermobalance made possible the observation of the comportment of sodium, potassium and ammonium oxalates under the action of a rise in temperature, and the determination of their temperatures of decomposition.

CHAIRE DE GENIE RURAL

(Prof. A. MOUREAU)

Note sur le calcul des pertes de charge dans les conduites à arroseurs multiples (irrigation par aspersion)

par

L. SINE

RESUME.

Nous présentons ci-dessous une méthode de calcul originale, se rapportant à l'évaluation de la perte de pression dans les conduites d'irrigation par aspersion, à arroseurs multiples.

Nous montrons qu'en admettant un débit en route continu, proportionnel à la racine carrée de la charge en chaque section de la conduite, on peut aboutir à l'élaboration de quelques formules simples permettant la solution des problèmes usuels. Tout en restant d'un emploi beaucoup moins lourd que la méthode par récurrence, la solution présentée aboutit à des résultats d'une excellente précision, quelle que soit la chute de pression dans la conduite.

Envisageant successivement le cas d'une conduite de diamètre uniforme ou variable, nous comparons les résultats obtenus avec ceux de la méthode « approchée » de CHRISTIANSEN, J. E.

Une planche, en annexe, permet la solution graphique des problèmes.

INTRODUCTION.

Parmi les systèmes d'irrigation par aspersion, qui sont utilisés actuellement en grande culture, on peut noter deux tendances :

a) l'emploi de quelques arroseurs rotatifs, à grande portée et à forte pression, branchés en des points inégalement distants, sur des conduites portatives ou enterrées.

b) l'emploi d'arroseurs rotatifs multiples, à faible portée, uniformément distants et branchés sur des joints d'accouplement de conduites portatives.

Le premier système s'est surtout développé en Allemagne, le second est celui qui jouit de la faveur des cultivateurs américains.

Nous présentons, ci-dessous, une nouvelle méthode de calcul, relative à l'évaluation de la perte de pression dans les conduites à arroseurs multiples. Ses caractéristiques sont les suivantes : elle permet une solution analytique simple des problèmes usuels ; elle est d'un emploi beaucoup plus aisé que la méthode de récurrence tout en conservant une précision excellente ; la méthode reste utilisable, quelle que soit la chute de pression et peut donc résoudre certains problèmes pour lesquels la méthode « approximative » de CHRISTIANSEN J. E. [1. p. 64 et suiv.] [2. p. 231 et suiv.] n'est plus recommandable.

Remarquons que l'étude ci-dessous s'applique automatiquement au calcul des pertes de charge dans les conduites d'arrosage à ajutages multiples et mouvement oscillatoire, utilisées dans les exploitations de faible étendue (cultures maraîchères etc...)

*
**

On sait que les problèmes usuels découlent immédiatement de la détermination de la ligne piézométrique dans une conduite cylindrique horizontale sur laquelle sont branchés N arroseurs identiques, uniformément distants de L . La conduite est constituée par une succession de tuyaux de longueur constante (sous multiple de L), réunis par des accouplements spéciaux, permettant un certain déplacement angulaire d'un tuyau par rapport aux tuyaux adjacents.

Nous distinguerons deux cas, selon que les arroseurs sont branchés sur une conduite de diamètre uniforme ou sur une conduite de diamètre variable.

CHAPITRE I.

CONDUITE DE DIAMETRE UNIFORME.

1. — Analyse théorique.

Nous avons réuni ci-dessous les notations employées, que nous définirons à nouveau au cours de l'article lors de leur utilisation :

$$A = \frac{1}{N^3} \sum_{n=1}^N (n^2) : \text{coefficient sans dimensions.}$$

$$A = \frac{h_{N+1} - h_1}{\gamma l Q^2}, \text{ lorsque ces valeurs sont déterminées par la méthode de CHRISTIANSEN.}$$

$$A' = \frac{Y'_N - 1}{N \sqrt[3]{4k} [Y'^{3/2}_N - 1]^{2/3}}$$

$$= \frac{h'_N - h'_0}{\gamma \cdot l \cdot Q^2} \text{ lorsque ces valeurs sont déterminées par la méthode de calcul proposée.}$$

C : coefficient de débit d'un arroseur.

$$\zeta = \frac{8f}{g \pi^2 D^5} : \text{coefficient utilisé dans le calcul des pertes de charge en conduites cylindriques rectilignes.}$$

D : diamètre de la conduite.

f : coefficient de frottement, sans dimensions, utilisé dans le calcul des pertes de charge en conduites cylindriques rectilignes.

g : accélération de la pesanteur.

h : hauteur piézométrique relative à une section quelconque de la conduite d'arrosage.

$h_1 \dots h_n \dots h_N$: hauteur piézométrique aux points de branchement du 1^{er}, ... n^{me}, ... dernier arroseur, ceux-ci étant numérotés d'aval vers l'amont, de 1 à N.

$h'_1 \dots h'_n \dots h'_N$: hauteur piézométrique à une distance $\frac{L}{2}$ en amont du 1^{er}, ... n^{me}, ... dernier arroseur, numérotés d'aval vers l'amont, de 1 à N.

$h_a = \left(\frac{q_a}{C} \right)^2$: charge correspondant au débit moyen $q_a = \frac{Q}{N}$ des arroseurs.

h'_0 : charge à l'extrémité aval de la conduite fictive, à débit en route continu. Dans la solution des problèmes pratiques, nous avons admis comme étant négligeable la différence $h_1 - h'_0$.

i : perte de charge par unité de longueur, dans une conduite cylindrique, de diamètre constant.

$$k : C^2 \gamma L = \frac{q_a^2 \gamma L}{h_a} = \frac{q'_o{}^2 \gamma L}{h'_o}$$

L : distance entre 2 arroseurs voisins.

l : NL : longueur totale de la conduite.

$$p : \frac{dh}{dx}$$

Q : débit de la conduite, en sa section amont.

Q_x : débit au travers de la section d'abscisse x d'une conduite à débit en route continu.

Q_n : débit s'écoulant dans le tronçon situé entre le n^{me} et le $(n + 1)^{\text{me}}$ arroseurs, ceux-ci étant numérotés de 1 à N d'aval vers l'amont.

q : débit d'un arroseur sous une charge h .

$q_1 \dots q_n \dots q_N$: débit du 1^{er} n^{me} N^{me} arroseur, ceux-ci étant numérotés d'aval vers l'amont.

q'_n : débit d'un arroseur sous une charge h'_n , n étant égal à 0, 1, ..., N .

$$q_a = \frac{Q}{N} : \text{débit moyen des } N \text{ arroseurs.}$$

$$u = \left(\frac{Y^{3/2} - 1}{Y^{3/2}} \right)^{1/3}$$

V : vitesse moyenne de l'eau dans une section quelconque de la conduite.

x : abscisse d'une section quelconque de la conduite fictive, à débit en route continu.

$$Y = \frac{h}{h_1} \approx \frac{h}{h'_n} = \text{« rapport de pression » entre la charge } h \text{ d'une section quelconque de la conduite et la charge à l'extrémité aval.}$$

Y'_n : rapport de pression relatif à une section située à mi-distance entre le n^{me} et le $n + 1^{\text{me}}$ arroseur ($n = 1, 2, 3 \dots N$).

Y_n : rapport de pression relatif à la section où est branché le n^{me} arroseur ($n = 1, 2, \dots, N$).

Nous admettons que le coefficient de débit C d'un arroseur, exprimé par la formule :

$$q = C \sqrt{h} \quad (1)$$

est indépendant de h , dans les intervalles usuels de variation de h . Ce coefficient est caractéristique de chaque type d'arroseur et se déduit immédiatement des renseignements fournis par les constructeurs. Ceux-ci indiquent, en général, les valeurs du débit en fonction de la pression.

Rappelons que i , perte de charge par unité de longueur dans une conduite cylindrique de diamètre D , peut s'exprimer par la formule classique en fonction de la vitesse V ou du débit Q :

$$Di = f \frac{V^2}{2g} = f \frac{8}{g} \frac{Q^2}{\pi^2 D^4} \quad (2)$$

le coefficient f dépendant de la rugosité de la conduite et étant une fonction décroissante du nombre de Reynolds. Dans le cas d'une conduite à arroseurs multiples, la vitesse moyenne diminue et par conséquent le coefficient f augmente, d'amont vers l'aval. (Nous renseignons au tableau 4, page 154, quelques valeurs numériques de f .) D'autre part, si nous voulons exprimer la variation de la ligne piézométrique entre

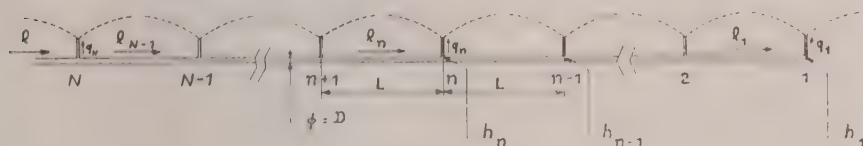


Fig. 1

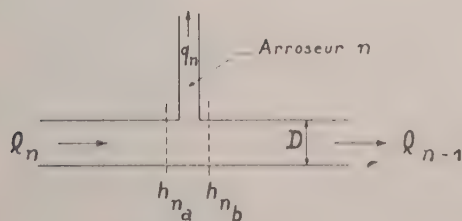


Fig. 2.

deux arroseurs voisins $h_n = h_{n-1}$ (cf. fig. 1), nous devons tenir compte de la variation de pression $h_n = h_n$ (fig. 2) entre deux sections de la conduite, situées à l'amont et à l'aval immédiats d'un arroseur quelconque n . Cette variation est négative et est due à la transformation d'énergie cinétique en énergie de pression, diminuée de la perte de charge due à la turbulence et à l'épanouissement de la veine liquide entre les

deux sections considérées. Des valeurs numériques détaillées manquent encore mais l'ordre de grandeur en est néanmoins connu [2. p. 231 et suiv.] et une étude expérimentale récente vient d'apporter quelques précisions à ce sujet [3].

Si nous définissons :

$$h_n = \frac{1}{2} \left(h_{n_a} + h_{n_b} \right)$$

l'influence de la différence $h_{n_a} - h_{n_b}$ se traduit par une diminution de la pente moyenne $\frac{1}{L} (h_n - h_{n-1})$ de la ligne piézométrique.

CHRISTIANSEN J. E. admet [1. p. 67], en suite de ses mesures expérimentales, que cette récupération de pression compense l'effet de l'augmentation du coefficient f le long de la conduite et qu'on peut, avec une bonne approximation, considérer f comme constant pour exprimer la variation de la ligne piézométrique le long d'une conduite avec arroseurs.

Nous admettrons également cette hypothèse.

Rappelons que le problème du calcul de la ligne piézométrique peut se résoudre par récurrence. Partant d'une valeur déterminée de la pression à l'aval, on peut calculer le débit du premier arroseur, évaluer la perte de charge dans le premier tronçon, en déduire le débit du second arroseur et ainsi de suite. Les calculs sont assez longs et ne sont guère pratiques pour des calculs d'avant-projet. Dans une étude parue en 1951, CARSTENS M. R. [4], introduisant quelques coefficients sans dimensions, a cependant présenté une solution de ce problème en utilisant la méthode par récurrence. Cette solution suppose que les coefficients C et f des formules (1) et (2) sont constants et tient compte, en outre, des pertes de charge locales aux joints. Celles-ci sont évaluées à partir de résultats expérimentaux, non publiés, de J. R. BARTON. Les résultats sont présentés sous forme de graphiques. Malheureusement, ces derniers ne couvrent pas tout l'intervalle des cas usuels. C'est ainsi que pour des conduites d'un diamètre de 3" ils ne peuvent être utilisés qui si N est supérieur à 16, cette valeur minimum de N étant respectivement de 23 et 32 pour des conduites d'un diamètre de 4" et 5" :

Depuis 1942, les techniciens du Service de Conservation des Sols des Etats-Unis utilisent la méthode « approximative » de CHRISTIANSEN J. E. [1] et [2]. Celui-ci remarque que le long d'une conduite d'arrosage la variation de débit des arroseurs n'est pas trop importante et admet qu'on peut calculer les variations de la ligne piézométrique en supposant, pour chaque arroseur, un débit uniforme, c'est-à-dire :

$$q_1 = q_2 = q_n = q_N = q_a = \frac{Q}{N}$$

où q_1, q_2, q_n représentent les débits du premier, deuxième, n ième arroseur

et où q_a est le « débit moyen » égal au débit total divisé par le nombre d'arroseurs.

Il en déduit par (2) :

$$h_{n+1} - h_n = f \frac{L}{D} \frac{8}{g} \frac{(n q_a)^2}{\pi^2 D^4} \quad (3)$$

et par conséquent, la variation de pression entre un point situé à une distance L en amont du dernier arroseur et le pied de l'arroseur à l'extrémité aval, peut s'exprimer par :

$$h_{N+1} - h_1 = f \frac{8}{g} \frac{l}{\pi^2 D^5} \frac{Q^2}{N} \frac{N}{N^2} \sum_{n=1}^N (n^2) \quad (4)$$

$l = NL$ étant la longueur totale de la conduite.

Posant :

$$\gamma = \frac{8 f}{g \pi^2 D^5} \quad (5)$$

$$A = \frac{1}{N^3} \sum_{n=1}^N (n^2)$$

il obtient :

$$h_{N+1} - h_1 = A \cdot \gamma \cdot l \cdot Q^2 \quad (6)$$

où A , est un coefficient sans dimensions, fonction de N (tableau 1).

TABLEAU 1.

$$\text{Valeurs du coefficient.} \quad A = \frac{1}{N^3} \cdot \sum_{n=1}^N (n^2)$$

N	A	N	A	N	A
1	1.000	11	0.380	21	0.358
2	0.625	12	0.376	22	0.356
3	0.519	13	0.373	23	0.355
4	0.469	14	0.370	24	0.354
5	0.440	15	0.367	25	0.354
6	0.421	16	0.365	30	0.350
7	0.408	17	0.363	40	0.345
8	0.398	18	0.362	50	0.343
9	0.391	19	0.360	100	0.338
10	0.385	20	0.359	∞	0.333

CHRISTIANSEN J. E. admet en outre et sans en indiquer une démonstration, du moins dans les deux publications signalées (1. p. 72) (2. p. 236) la relation suivante :

$$h_a = h_1 + 0.25 (h_{N+1} - h_1) \quad (7)$$

entre la pression « moyenne » c'est-à-dire celle correspondant au débit moyen et définie par :

$$q_a = C \sqrt{h_a} \quad (1')$$

et les pressions aux deux extrémités de la conduite. La combinaison des relations (4) et (7) permet une solution facile des problèmes pratiques.

Cette méthode de calcul conduit évidemment à certaines erreurs numériques et nous avons été intrigués de ne pas trouver, dans la littérature technique, de détails quantitatifs sur l'importance des erreurs auxquelles elle aboutit. CHRISTIANSEN remarque simplement [2 ; p. 234] et [1 ; p. 64] que la formule (6) donnera d'excellents résultats si la chute totale de pression est relativement faible. Il signale, d'autre part, que la formule (7) est « approchée ». Nous avons pensé qu'il serait intéressant de discuter plus en détail cet aspect de la question, étant donné l'emploi courant de cette méthode de calcul.

Les difficultés d'un calcul analytique simple proviennent du fait que, à chaque arroseur, le débit varie d'une façon discontinue le long de la conduite. On peut éliminer cette difficulté en supposant une variation de débit continue, hypothèse analogue à celle admise pour le calcul du service en route des distributions d'eau. Il est évident que cette hypothèse de calcul sera d'autant meilleure que le nombre d'arroseurs sera plus élevé.

Nous écrirons donc, en considérant le débit total Q_x s'écoulant à travers une section distante de x de l'extrémité aval :

$$dh = \gamma Q_x^2 dx \quad (8)$$

dh représentant la perte de charge le long de dx .

Nous avons admis, d'autre part, par (1) que le débit de chaque arroseur est proportionnel à $\sqrt{h}$.

Nous imaginerons une prise d'eau élémentaire, le long de dx :

$$dQ_x = \frac{C}{L} \sqrt{h} dx$$

ou encore :

$$Q_x = \frac{C}{L} \int_0^x \sqrt{h} dx \quad (9)$$

La comparaison des formules (1) et (9) montre que notre hypothèse de calcul revient à assimiler, avec une certaine approximation, une lon-

gueur L de la conduite fictive, à débit en route continu, à une longueur $\frac{L}{2}$ de la conduite réelle, constituée par deux tronçons de longueur $\frac{L}{2}$ situés de part et d'autre d'un arroseur. En d'autres termes, nous assimilons, au point de vue débit et pression, les sections situées à mi-distance entre deux arroseurs sur la conduite réelle, aux sections d'abscisse L , $2L$, $3L$, etc... de la conduite fictive, définie par (8) et (9).

Le lecteur qui désire s'épargner les développements mathématiques peut éviter les lignes ci-dessous et passer directement au paragraphe 2 page 150.

Combinant les deux relations (8) et (9) :

$$\frac{d^2 h}{dx^2} = \frac{2 C}{L} \sqrt{\gamma \frac{dh}{dx} \sqrt{h}} \quad (10)$$

Cette équation différentielle du second ordre peut se résoudre facilement par les méthodes classiques en posant :

$$p = \frac{dh}{dx}$$

L'équation (10) devient :

$$p \frac{dp}{dh} = \frac{2 C \sqrt{\gamma}}{L} \sqrt{p \cdot h} \quad (10')$$

et on en déduit :

$$\frac{2}{3} p^{3/2} = \frac{4}{3} \frac{C \sqrt{\gamma}}{L} h^{3/2} + C_1^{\text{te}}$$

Les conditions aux limites à l'extrémité aval (pour $x = 0$: $p = 0$ et $h = h'_0$) permettent la détermination :

$$C_1^{\text{te}} = - \frac{4}{3} \frac{C \sqrt{\gamma}}{L} h'^{3/2}_0$$

$$\text{Nous poserons : } \frac{h}{h'_0} = Y \quad (11)$$

Y étant le « rapport de pression » défini par Christiansen J. E.

Il vient :

$$\frac{dh}{dx} = \left(4 \frac{C^2 \gamma}{L^2} \right)^{1/3} h'_o (Y^{3/2} - 1)^{2/3} \quad (12)$$

Nous poserons :

$$k = C^2 \gamma L = \frac{q_u^2}{h_n} \gamma L = \frac{q'_o{}^2}{h'_o} \gamma L \quad (13)$$

D'où

$$\frac{dY}{dx} = \frac{dh}{h'_o dx} = \frac{\sqrt[3]{4k}}{L} (Y^{3/2} - 1)^{2/3} \quad (12')$$

qui donne par intégration et après avoir posé :

$$u = \left(\frac{Y^{3/2} - 1}{Y^{3/2}} \right)^{1/3} \quad (14)$$

$$\frac{\sqrt[3]{4k}}{L} x + C_{2te} = \frac{1}{3} \log_e \left(1 + \frac{2u}{(1-u)^2} \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2u+1}{\sqrt{3}}$$

Pour $x = 0$: $Y = 1$ et $u = 0$ et on peut déduire :

$$C_{2te} = \frac{\pi}{3\sqrt{3}}$$

Finalement :

$$\frac{\sqrt[3]{4k}}{L} x = \frac{1}{3} \log_e \left(1 + \frac{2u}{(1-u)^2} \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2u+1}{\sqrt{3}} - \frac{\pi}{3\sqrt{3}} \quad (15)$$

Nous obtenons ainsi une relation entre l'abscisse x d'un point quelconque pris sur la conduite et Y , rapport entre la pression en ce point et la pression à l'extrémité aval. Ce « rapport de pression » est indépendant de h'_o et ne dépend que des caractéristiques mécaniques de l'installation.

Le tableau 2 donne les valeurs numériques de $\frac{\sqrt[3]{4k}}{L} x$ en fonction de valeurs particulières de Y ou de u , calculées à partir de la relation 15.

TABLEAU 2.

$Y'_N - 1$ ou $Y - 1$	u	$\sqrt[3]{\frac{x}{4k}}$	$\frac{k N^3}{3}$	$\frac{Q}{N q'_0}$	$3 A'$	Y_n	$\frac{2u}{N \sqrt[3]{\frac{x}{4k}}}$
0.00010	0.05313	0.1062	0.00010	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.00100	0.1142	0.2284	0.00100	1.0001	0.9999	1.0002	0.9996
0.00537	0.2000	0.4008	0.00537	1.0007	0.9993	1.0013	0.9980
0.01000	0.2456	0.4930	0.00999	1.0012	0.9988	1.0025	0.9963
0.01841	0.3000	0.6041	0.01837	1.0023	0.9977	1.0046	0.9932
0.02965	0.3500	0.7077	0.02954	1.0037	0.9963	1.0074	0.9891
0.04508	0.4000	0.8133	0.04483	1.0056	0.9944	1.0112	0.9837
0.06577	0.4500	0.9216	0.06524	1.0081	0.9920	1.0163	0.9765
0.09310	0.5000	1.0337	0.09204	1.0114	0.9888	1.0230	0.9674
0.1000	0.5107	1.0583	0.09878	1.0123	0.9880	1.0247	0.9652
0.1210	0.5400	1.1268	0.1192	1.0148	0.9855	1.0298	0.9584
0.1463	0.5700	1.1992	0.1437	0.0178	0.9827	1.0359	0.9506
0.1761	0.6000	1.2743	0.1724	1.0213	0.9794	1.0431	0.9417
0.2000	0.6208	1.3282	0.1952	1.0241	0.9768	1.0487	0.9349
0.3000	0.6878	1.5146	0.2895	1.0355	0.9663	1.0723	0.9082
0.4000	0.7345	1.6609	0.3818	1.0466	0.9565	1.0953	0.8845
0.5000	0.7695	1.7828	0.4722	1.0573	0.9473	1.1179	0.8633
0.6000	0.7968	1.8879	0.5607	1.0677	0.9386	1.1400	0.8441
0.7000	0.8187	1.9808	0.6476	1.0779	0.9303	1.1618	0.8267
0.8000	0.8368	2.0642	0.7329	1.0878	0.9225	1.1832	0.8108
0.9000	0.8519	2.1400	0.8167	1.0974	0.9151	1.2043	0.7961
1.0000	0.8647	2.2097	0.8991	1.1068	0.9079	1.2250	0.7826

Remarquons que, en pratique, x sera multiple de L et que le « rapport de pression » Y'_N relatif à un point situé à une distance $\frac{L}{2}$ en amont du N^{me} arroseur se déduira de l'équation (15) où on posera $x = NL$ c'est-à-dire :

$$N \sqrt[3]{4k} = \frac{1}{3} \log_e \left(1 + \frac{2u}{(1-u)^2} \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2u+1}{\sqrt{3}} - \frac{\pi}{3\sqrt{3}} \quad (15')$$

Nous négligerons (cf. exemple p. 151) la différence de pression entre les points d'abscisse 0 et $\frac{L}{2}$ dans la ligne d'arrosage hypothétique, c'est-à-dire que nous supposerons que h'_0 représente la pression réelle h_1 existant au pied du premier arroseur.

Mise sous la forme (15'), la relation déterminant Y est trop compliquée pour une utilisation pratique. Or, dans les installations existantes, il est recommandé de maintenir Y inférieur à 1.4 afin de ne pas aboutir à une répartition trop inégale des débits entre les arroseurs; nous admettons qu'en pratique Y est toujours compris entre 1 et 2. Entre ces limites, on peut assimiler l'équation (15') aux équations suivantes :

$$Y_N = 1 + \frac{kN^3}{3} + 0.125 \left(\frac{kN^3}{3} \right)^2 \quad (16)$$

$$\frac{kN^3}{3} = (Y_N - 1) - 0.100 (Y_N - 1)^2 \quad (16')$$

les erreurs commises sur Y_N ou sur kN^3 en utilisant ces expressions approchées étant respectivement toujours inférieures à 0.0002 pour (16) et à 0.004 pour (16').

La relation (16) peut servir à calculer la ligne piézométrique demandée, en faisant $N = 1, 2, \dots$.

Répétons qu'elle ne donne pas les rapports de pression aux points de branchement des arroseurs mais aux points situés à mi-distance entre deux arroseurs voisins. (fig. 3)

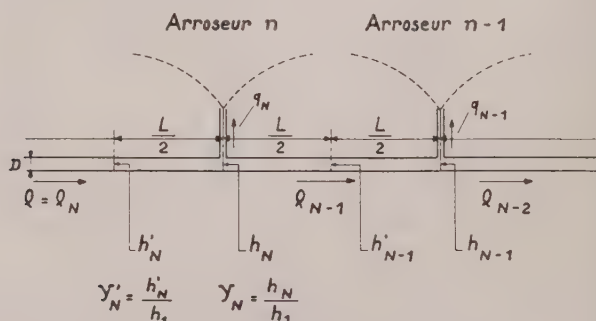


Fig. 3.

Cette relation doit être complétée par le calcul du débit Q_x . Nous avons vu que :

$$Q_x = \frac{C}{L} \int_0^x \sqrt{h} dx = \frac{C\sqrt{h'_0}}{L} \int_0^x \sqrt{Y} dx \quad (9)$$

Par (12') :

$$dx = \frac{L}{\sqrt[3]{4k}} \frac{dY}{(Y^{3/2} - 1)^{2/3}}$$

c'est-à-dire :

$$\begin{aligned} Q_x &= \frac{C \sqrt{h'_0}}{\sqrt[3]{4k}} \int_1^Y \frac{Y^{1/2} dY}{[Y^{3/2} - 1]^{2/3}} \\ &= \frac{2 C \sqrt{h'_0}}{\sqrt[3]{4k}} [Y^{3/2} - 1]^{1/3} \end{aligned}$$

Finalement :

$$\frac{Q_x}{Nq'_0} = \frac{q_a}{q'_0} = \frac{2[Y^{3/2} - 1]^{1/3}}{N \sqrt[3]{4k}} \quad (17)$$

Combinant les relations (15') et (17) on pourra donc calculer $\frac{Q}{Nq'_0}$

en fonction de Y, ou en fonction de $N \sqrt[3]{4k}$ (ou de kN^3). Les résultats numériques sont indiqués au tableau 2.

Pour les calculs usuels on remplacera (17) par la relation approchée :

$$\frac{Q}{Nq'_0} = \frac{q_a}{q'_0} = 1 + 0.125 \frac{kN^3}{3} - 0.007 \left(\frac{kN^3}{3} \right)^2 \quad (18)$$

Si $Y < 2$, les écarts sur $\frac{Q}{Nq'_0}$, entre les valeurs calculées à partir de (17) et (18), restent inférieurs à 0.0002.

Les formules (15') et (17), et par conséquent leurs expressions approchées (16) et (18), sont à la base de la solution des problèmes posés. On peut en déduire immédiatement quelques corollaires.

Nous calculerons, pour en déduire une comparaison avec la formule (6), la valeur de $h'_N - h'_0$ en fonction de γL , N , Q et Y .

Par utilisation des formules (11, 17 et 13) on obtient facilement :

$$\frac{h'_N - h'_0}{\gamma N L Q^2} = \frac{Y'_N - 1}{N \sqrt[3]{4k} [Y'^{3/2}_N - 1]^{2/3}} \quad (19)$$

Nous poserons :

$$A' = \frac{h'_N - h'_0}{\gamma \cdot l \cdot Q^2} \quad (20)$$

Le tableau 2 donne les valeurs de $3 A'$, calculées à partir des formules 20, 19 et 15'. On s'aperçoit que A' est proche de la valeur $\frac{1}{3}$, pour autant que Y ne s'écarte par trop de l'unité.

Au lieu de 19 et 20 on utilisera la formule approchée :

$$3 A' = 1 - 0.125 \frac{kN^3}{3} + 0.025 \left(\frac{kN^3}{3} \right)^2 \quad (21)$$

les écarts, pour $Y < 2$, ne dépassant jamais 0.001. Notons que la valeur $A' = \frac{1}{3}$ correspond au cas du débit en route continu et uniforme.

Pour comparer les formules (7) et (17) nous remarquerons que la formule (1), où C est constant, nous permet d'écrire en combinaison avec (17) :

$$Y_a = \frac{h_a}{h'_o} = \left(\frac{q_a}{q'_o} \right)^2 = \frac{4 (Y^{3/2} - 1)^{2/3}}{N^2 (4k)^{2/3}} \quad (22)$$

Les valeurs numériques de Y_a sont renseignées au tableau 2 en fonction de kN^3 ou de Y .

Au lieu de (22) on utilisera les relations approchées :

$$Y_a = 1 + 0.25 (Y - 1) - 0.025 (Y - 1)^2 \quad (23)$$

$$Y_a = 1 + 0.25 \frac{kN^3}{3} \quad (24)$$

les écarts sur Y_a étant inférieurs à 0.001 dans le cas de (23) et à 0.0003 dans le cas de (24), pour $Y < 2$.

2. — Précision des Formules démontrées.

Rappelons, pour le lecteur qui n'a pas lu les pages précédentes, que nous avons démontré les formules suivantes, les notations utilisées étant explicitées pages 138 et suiv. :

$$Y'_N = \frac{h'_N}{h'_o} = 1 + \frac{kN^3}{3} + 0.125 \left(\frac{kN^3}{3} \right)^2 \quad (16)$$

$$\frac{kN^3}{3} = (Y'_N - 1) - 0.100 (Y'_N - 1)^2 \quad (16')$$

$$\frac{Q}{Nq'_o} = \frac{q_a}{q'_o} = 1 + 0.125 \frac{kN^3}{3} - 0.007 \left(\frac{kN^3}{3} \right)^2 \quad (18)$$

$$3A' = 3 \frac{h'_N - h_o}{\gamma N L Q^2} = 1 - 0.125 \frac{kN^3}{3} + 0.025 \left(\frac{kN^3}{3} \right)^2 \quad (21)$$

$$\frac{h_a}{h'_o} = Y_a = 1 + 0.25 (Y'_N - 1) - 0.025 (Y'_N - 1)^2 \quad (23)$$

$$\left(\frac{q_a}{q'_o} \right)^2 = \frac{h_a}{h'_o} = Y_a = 1 + 0.25 \frac{kN^3}{3} \quad (24)$$

Nous assimilons en outre h'_o et q'_o respectivement à h_1 et q_1 , c'est-à-dire que nous négligeons l'influence de la chute de pression dans la partie de la conduite fictive comprise entre les abscisses 0 et $\frac{L}{2}$.

Pour apprécier l'écart donné par l'utilisation de ces formules et l'utilisation de la méthode par récurrence, nous avons résolu, par les deux méthodes, un problème numérique.

Nous avons choisi les valeurs suivantes, les unités étant le mètre et la seconde :

$$D = 0.075 \text{ m};$$

$$\gamma = 696,4 \text{ m.}^{-6} \text{ sec.}^2;$$

$$L = 12 \text{ m}; N = 20;$$

$$q = 0.001 \text{ m}^3/\text{sec. pour } h = 30 \text{ m};$$

$$k = \frac{q^2}{h} \gamma L = 0.0002785.$$

Les valeurs de D et L sont des valeurs usuelles.

Le choix de γ correspond à une valeur du coefficient $f = 0.021$ (cf. page 154) et q et h sont tirés des données fournies par un fabricant pour des arroseurs habituels.

Nous supposons $h_1 = h'_o$ connu et égal à 30 m.

Le tableau 3 indique les résultats obtenus par les deux méthodes pour calculer $h'_N - h_1$ (colonnes 2 et 3), chute de pression dans la conduite

L

à partir d'une distance — en amont du N^{me} arroseur et Q (colonnes 7 et 8), débit s'écoulant dans le tronçon en amont du N^{me} arroseur.

On remarquera que la méthode développée ci-dessus, donne des résultats pratiquement identiques à la méthode de récurrence. Ce résultat justifie les hypothèses de calcul que nous posons.

Nous avons également calculé (colonnes 5 et 10) les valeurs correspondantes de h'_N et Q, par la méthode développée par CHRISTIANSEN c'est-à-dire à partir des formules de base (6) et (7). Les colonnes 4, 6, 9 et 11 du tableau 3 indiquent les écarts entre les valeurs calculées par la méthode de récurrence et celles déduites des deux autres méthodes.

TABLEAU 3.

Calcul de la chute de pression $h'_N - h_1 \approx h'_N - h'_0$ et du débit amont Q.

N	Chute de pression					Débit amont Q				
	Récur- rence $h'_N - h'_1$ (m)	Formule 16		Formules 6 et 7		Récur- rence Q l/sec	Formule 18		Formules 6 et 7	
		$h'_N - h'_0$ (m)	Δ (mm)	$h'_N - h'_1$ (m)	Δ (mm)		Q l/sec	Δ l/sec	Q l/sec	Δ l/sec
1	0.004	0.003	— 1	0.004	—	1.000	1.000	—	1.000	—
2	0.035	0.022	— 3	0.025	—	2.000	2.000	—	2.000	—
3	0.079	0.075	— 4	0.079	—	3.001	3.001	—	3.001	—
4	0.184	0.178	— 6	0.184	—	4.003	4.003	—	4.004	0.001
5	0.356	0.349	— 7	0.356	—	5.007	5.007	—	5.010	0.003
6	0.611	0.603	— 8	0.613	2	6.015	6.015	—	6.019	0.004
7	0.969	0.959	—10	0.973	4	7.028	7.028	0.001	7.034	0.007
8	1.446	1.435	—11	1.455	9	8.047	8.047	—	8.057	0.010
9	2.061	2.048	—13	2.079	18	9.075	9.076	0.001	9.091	0.016
10	2.832	2.818	—14	2.868	36	10.114	10.115	0.001	10.137	0.023
11	3.780	3.765	—15	3.844	64	11.167	11.169	0.002	11.199	0.032
12	4.927	4.910	—17	5.036	109	12.236	12.238	0.002	12.281	0.045
13	6.295	6.276	—19	6.474	179	13.325	13.328	0.003	13.387	0.062
14	7.907	7.887	—20	8.192	285	14.436	14.439	0.003	14.523	0.087
15	9.791	9.769	—22	10.234	443	15.573	15.577	0.004	15.693	0.120
16	11.975	11.952	—24	12.648	673	16.739	16.744	0.005	16.905	0.166
17	14.491	14.465	—26	15.495	1004	17.939	17.945	0.006	18.167	0.228
18	17.371	17.344	—27	18.846	1475	19.175	19.181	0.006	19.488	0.313
19	20.655	20.627	—28	22.793	2138	20.451	20.459	0.008	20.880	0.429
20	24.384	24.353	—31	27.451	3067	21.773	21.780	0.007	22.359	0.586

Nous remarquerons que si la chute de pression n'est pas trop importante (inférieure à 20 %) les hypothèses de calcul de CHRISTIANSEN n'aboutissent à aucune erreur appréciable pour le praticien.

L'exposé que nous venons de faire constitue donc une justification supplémentaire de la méthode CHRISTIANSEN pour les petites valeurs de $Y'_N - 1$.

L'exemple que nous venons de traiter illustre les avantages de la méthode proposée : tout en conservant une précision égale à la méthode de récurrence, elle est d'un emploi aussi aisé que la méthode « approximative » de CHRISTIANSEN et peut être utilisée quelle que soit la valeur du rapport de pression Y'_N et notamment dans les cas où la méthode CHRISTIANSEN conduit à des erreurs appréciables.

Nous allons montrer qu'elle permet également une solution analytique simple des problèmes usuels, à l'encontre de la méthode de récurrence.

3. — Problèmes usuels.

Ils se ramènent ordinairement à l'un des types suivants :

Problème 1. — On donne les caractéristiques de la conduite et des arroseurs, ainsi que la pression aval h_1 . On demande la valeur du débit amont $Q = Q_N$, ainsi que la pression h à fournir à une distance d en amont du N^{me} arroseur.

A l'aide des données, on calcule kN^3 par 13 et on obtient directement, par 16 et 18 :

$$h'_N = h_1 \left[1 + \frac{kN^3}{3} + 0.125 \left(\frac{kN^3}{3} \right)^2 \right] \quad (16'')$$

$$Q = Q_N = Nq_1 \left[1 + 0.125 \frac{kN^3}{3} - 0.007 \left(\frac{kN^3}{3} \right)^2 \right] \quad (18')$$

D'où :

$$h = \gamma Q^2 \left(d - \frac{L}{2} \right) + h'_N \quad (25)$$

Problème 2. — On donne les caractéristiques de la conduite et de ses N arroseurs, ainsi que la pression h à une distance d en amont du N^{me} arroseur. Déterminer Q et h_1 .

Combinant (24), (25) et (13) on successivement :

$$Y = \frac{h}{h_1} = \frac{\gamma N^2 q_1^2}{h_1} \left(1 + 0.25 \frac{kN^3}{3} \right) \left(d - \frac{L}{2} \right) + Y'_N$$

$$Y = \frac{3}{NL} \left[\frac{kN^3}{3} + 0.25 \left(\frac{kN^3}{3} \right)^2 \right] \left(d - \frac{L}{2} \right) + Y'_N \quad (26)$$

A l'aide des relations (13) et (16) on calculera kN^3 et Y'_N ; on déduira

$$Y = \frac{h}{h_1} \text{ de (26).}$$

D'où successivement : h_1, q_1 par (1) et Q par (18').

Problème 3. — On donne les caractéristiques de la conduite et de ses N arroseurs ainsi que le débit Q . Déterminer h_1 .

A partir de $q_a = \frac{Q}{N}$ et de (1') on déterminera h_a . La formule (24) permet alors le calcul de Y_a et on en déduira h_1 .

Problème 4. — Si l'on s'impose une variation de pression maximum, combien peut-on admettre d'arroseurs sur une conduite déterminée ? L'inconnue est N et l'on s'impose Y'_N .

La solution est fournie par l'équation (15') que l'on utilisera sous la forme 16'.

REMARQUE : Nous venons de voir que l'on pouvait obtenir analytiquement et par utilisation de formules simples quoique précises, les solutions de tous les problèmes traités. Ces solutions peuvent également être déterminées graphiquement. C'est ainsi que la planche 1 permet la

détermination de $\frac{kN^3}{3}$ à partir de $q, h, \gamma L$ et N .

Rappelons que :

$$k = \frac{q^2}{h} \gamma L \quad (13)$$

$$\gamma = f \frac{8}{g \pi^2 D^5} \quad (5)$$

On remarquera que l'échelle indiquant les valeurs de γL donne également ces valeurs en fonction du diamètre.

Dans ce cas, nous avons admis, pour calculer γ en fonction de D , les recommandations de CHRISTIANSEN : (1. p. 68) renseignées au tableau 4.

TABLEAU 4.

$D_{(m)}$	0.025	0.0375	0.05	0.0725	0.075	0.10	0.125	0.15
f	0.028	0.025	0.023	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018
$\gamma_{(m)}^{-6} \text{sec.}^2$	236.910	27.855	5817	1819	696.4	165.2	51.44	19.586

et nous avons supposé $L = 12$ m, longueur généralement utilisée. Dans le cas où on admettrait d'autres valeurs de f ou de L , on calculerait γL par (5) et on utiliserait le point correspondant lu sur la partie gauche de l'échelle 5, pour en déduire $\frac{kN^3}{3}$.

A l'extrémité droite de l'abaque, on peut lire directement $Y'_N = 1 - \frac{Q_N}{N q'_0}$ et $Y_a = 1$ en fonction de $\frac{kN^3}{3}$, calculés respectivement par les formules 16, 18 et 24.

CHAPITRE II.

CONDUITE DE DIAMETRE VARIABLE.

1. Analyse théorique.

Nous considérons, en premier lieu, le cas de 2 diamètres différents, le tronçon aval étant de diamètre D_1 et de longueur $N_1 L$, le tronçon amont étant de diamètre D_2 et de longueur $N_2 L$. Les arroseurs, au nombre de $N_1 + N_2$, sont identiques et uniformément distants de L . Nous supposons connues les valeurs respectives de k_1 et k_2 ainsi que la pression à l'extrémité aval h_1 .

Utilisant les notations et formules développées au chapitre I, nous remarquerons qu'à la réunion des conduites de diamètres différents, c'est-à-dire au branchement du $N_1 + 1^{\text{me}}$ arroseur, correspondent les valeurs que $h_{N_1 + 1}$ et de $Q_{N_1 + 1}$ que l'on peut déduire aisément des relations 25 et 18'.

D'autre part, il est évident que les rapports :

$$\frac{Q_{N_1 + 1}}{\sqrt{h_{N_1 + 1}}} \text{ et } \frac{Q_{N_1 + 1}}{q_{N_1 + 1}}$$

sont indépendants de la pression h_1 et ne dépendent que des caractéristiques géométriques du tronçon aval.

Pour les calculs, on peut donc imaginer substituer au tronçon aval, de diamètre D_1 , un tronçon de diamètre D_2 , portant N'_1 arroseurs uni-

formément distants de L , la valeur de N'_1 étant calculée de façon à obtenir, en la section amont du tronçon fictif, un rapport $\frac{Q}{\sqrt{h}}$ égal à celui correspondant au tronçon réel. On sera ainsi ramené, au point de vue calcul, au cas traité au chapitre I.

Le problème préliminaire est donc le calcul de N'_1 .

Si nous reprenons les hypothèses du débit en route continu, nous pouvons écrire, pour la conduite de diamètre D , et en vertu de (1) :

$$\frac{Q_{N_1}}{q'_{N_1}} = \frac{Q_{N_1}}{q'_0 \sqrt{Y'_N}}$$

Utilisant les relations 17 et 14 :

$$\frac{Q_{N_1}}{q'_{N_1}} = \frac{2 [Y'^{3/2}_N - 1]^{1/3}}{\sqrt[3]{4 k_1 Y'^{1/2}_N}} = \frac{2 u}{\sqrt[3]{4 k_1}} \quad (27)$$

ou encore :

$$\frac{Q_{N_1}}{N_1 q'_{N_1}} = \frac{2 u}{N_1 \sqrt[3]{4 k_1}} \quad (28)$$

La relation (15') montrant que $N \sqrt[3]{4 k}$ est fonction de u , la relation (28) permettra d'exprimer $\frac{Q_N}{N q'_N}$ en fonction de u (cf. tableau 2). On

utilisera la relation approchée (erreur max. sur $\frac{Q_N}{N q'_N}$ inférieure à 0.004) :

$$\frac{Q_N}{N q'_N} = 1 - 0.242 u^3 - 0.145 u^6 \quad (29)$$

Remplaçant dans (29), u par sa valeur tirée de (27), on obtient :

$$\frac{1}{N} = \frac{q'_N}{Q_N} \left[1 - 0.121 k \left(\frac{Q_N}{q'_N} \right)^3 - 0.0364 k^2 \left(\frac{Q_N}{q'_N} \right)^6 \right] \quad (30)$$

Les formules développées au chapitre I nous permettant de calculer la valeur de $\frac{Q_N}{q'_N}$, la formule (30) nous donnera ensuite N'_1 selon la méthode indiquée ci-dessous.

2. — Précision des formules démontrées.

Pour apprécier l'écart donné par l'utilisation des formules 27 à 30 et la méthode par récurrence, nous reprendrons les valeurs suivantes, dont certaines ont déjà été utilisées au chapitre précédent :

$$D_1 = 0.075 \text{ m} ; N_1 = 10$$

$$D_2 = 0.100 \text{ m} ; N_2 = 10$$

$$\gamma_1 = 696,4 \text{ m}^{-6} \cdot \text{sec}^2$$

$$\gamma_2 = 165,25 \text{ m}^{-6} \cdot \text{sec}^2$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$q = 0.001 \text{ m}^3/\text{sec pour } h = 30 \text{ m}$$

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

Après avoir calculé la répartition des pressions et des débits par la méthode de récurrence (colonnes 2 et 7 du tableau 5), nous utiliserons les formules du paragraphe précédent de la façon suivante :

a) Calcul de h'_N et Q_N par les formules 16'' et 18' à partir de :

$$N = 10 + \frac{1}{2}$$

$$k = k_1 = \frac{\gamma_1 L q^2}{h} = 0.27855 \cdot 10^{-3}$$

On obtient :

$$h'_N = 33,2679 \text{ m}$$

$$Q_N = 10,6402 \text{ l/sec}$$

On en déduit :

$$\frac{Q_N}{q'_N} = \frac{Q}{q_1 \sqrt{\frac{h'_N}{h_1}}} = 10,1041$$

b) Calcul de N par la formule (30) où on utilisera les valeurs particulières :

$$\frac{Q_N}{q'_N} = 10,1041$$

$$k = k_2 = \frac{\gamma_2 L q^2}{h} = 0.066102 \cdot 10^{-3}$$

On obtient : $N = 10,19$

D'où : $N'_1 = 10,19 - 0,5 = 9,69$

A partir de la valeur $N = 10,19$, utilisée dans 16, on déduit le rapport de pression Y de la conduite aval fictive, de diamètre D_2 et la valeur correspondante de la pression aval, que nous appellerons h_{1, D_2} .

On obtient :

$$Y = 1.0234$$

$$h_{1, D_2} = \frac{h'_{N_1 + 1/2}}{Y} = 32.508 \text{ m}$$

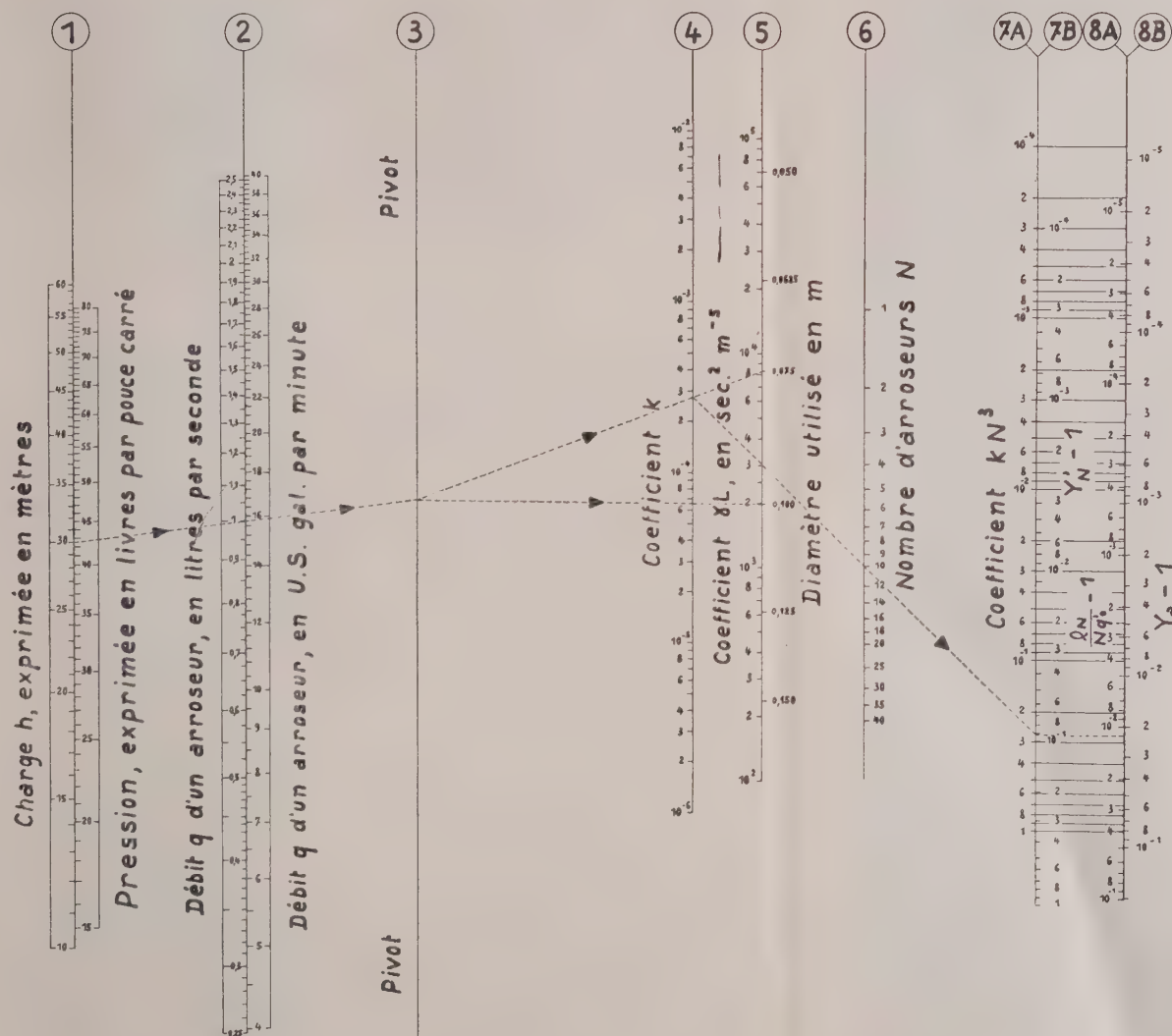
On continue alors le problème comme au chapitre précédent en calculant les valeurs habituelles de h'_N et Q à partir de 16'' et 18' où l'on remplacera h_1 par h_{1, D_2} et N_1 par N'_1 . Les résultats obtenus sont indiqués au tableau 5.

TABLEAU 5.

Chute de pression $h'_N - h_1$ et débit amont Q .

N = nombre d'arroseurs	Chute de pression					Débit amont				
	Récurrence	Formules proposées			Méthode Christiansen	Récurrence	Formules proposées			Méthode Christiansen
		$h'_N - h_1$	$h'_N - h_1$	Δ			Q	Q	Δ	
		(m)	(m)	(mm)	$h'_N - h_1$		l/sec	l/sec	l/sec	l/sec
$N_1 =$	1	0.004	0.003	— 1	0.004	—	1.000	1.000	—	1.000
	2	0.025	0.022	— 3	0.025	—	2.000	2.000	—	2.000
	3	0.079	0.075	— 4	0.079	—	3.001	3.001	—	3.001
	4	0.184	0.178	— 6	0.184	—	4.003	4.003	—	4.004
	5	0.356	0.349	— 7	0.356	—	5.007	5.007	—	5.010
	6	0.611	0.603	— 8	0.613	2	6.015	6.015	—	6.019
	7	0.969	0.959	— 10	0.973	4	7.027	7.028	0.001	7.034
	8	1.446	1.435	— 11	1.455	9	8.047	8.047	—	8.057
	9	2.061	2.048	— 13	2.079	18	9.075	9.076	0.001	9.091
	10	2.832	2.818	— 14	2.868	36	10.114	10.115	0.001	10.137
$N_1 + N_2 =$	11	3.383	3.386	+ 3	3.433	50	11.167	11.165	—0.002	11.162
	12	3.655	3.656	+ 1	3.712	57	12.224	12.222	—0.002	12.192
	13	3.978	3.981	+ 3	4.042	64	13.285	13.284	—0.001	13.227
	14	4.357	4.358	+ 1	4.430	73	14.351	14.351	—	14.268
	15	4.797	4.800	+ 3	4.881	84	15.425	15.425	—	15.317
	16	5.303	5.303	—	5.400	97	16.505	16.506	0.001	16.374
	17	5.880	5.879	— 1	5.993	113	17.594	17.595	0.001	17.441
	18	6.534	6.536	+ 2	6.667	133	18.692	18.693	0.001	18.519
	19	7.269	7.268	— 1	7.428	159	19.801	19.803	0.002	19.610
	20	8.092	8.090	— 2	8.285	193	20.921	20.923	0.002	20.715

Planche 1



Pour calculer k , on portera les valeurs de h , q et D (ou γL) sur leurs échelles respectives 1, 2 et 5. On joindra le point représentatif de h au point représentatif de q . On joindra le point d'intersection de cette droite et du pivot 3 au point représentatif de D (ou de γL) porté sur 5. Le point d'intersection de cette droite et de l'échelle 4 donnera le coefficient k .

La droite joignant le point représentatif de k et le point représentatif de N , (sur l'échelle 6) coupe l'échelle 7 en un point qui indiquera $k N^3$ sur l'échelle 7A, $Y_N - 1$ sur l'échelle 7B; une horizontale issue de ce point indique $\frac{Q_N}{N q_0}$ sur l'échelle 8A et $Y_a - 1$ sur l'échelle 8B.



Nous avons également calculé les valeurs de la chute de pression et du débit par la méthode indiquée par CHRISTIANSEN. Ce dernier proposait de résoudre le problème des conduites à diamètre variable en admettant : $N'_1 = N_1$ ce qui constitue une approximation parfaitement valable pour les faibles valeurs de $Y'_N - 1$. Les résultats du tableau 5 montrent également, comme ceux du tableau 3, que la méthode proposée est pratiquement aussi précise que la méthode de récurrence et qu'elle est utilisable dans tous les cas et notamment dans le cas de chutes de pression importantes. la méthode de CHRISTIANSEN aboutissant alors à des erreurs appréciables.

3. Problèmes usuels.

Nous avons jugé inutile de reprendre ici les problèmes traités au chapitre I et de les appliquer au cas du diamètre variable. L'exemple traité au paragraphe précédent montre clairement qu'après le calcul préliminaire de la valeur N'_1 , on est immédiatement ramené au cas du diamètre uniforme.

Il est évident également qu'on traiterait, par des méthodes analogues, le calcul d'une conduite comportant plus de 2 tronçons de diamètres différents.

Gembloux, octobre 1953.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHRISTIANSEN, J. E. - 1942 - « Irrigation by sprinkling » *University of California, Bulletin* 670.
 - [2] CHRISTIANSEN, J. E. - 1942 - « Hydraulics of sprinkling systems for irrigation » *Trans. of the Amer. Soc. of Civ. Eng.* Paper n° 2132, Vol. 107 - pp. 221 à 250.
 - [3] ALDRICH, R. A. et MOLENAAR, A. - 1952 - « An analysis of branching flow in pipes » *Agricultural Engineering*, Vol. 33, n° 12, pp. 780 à 783.
 - [4] CARSTENS, M. R. - 1951 « The hydraulics of sprinkler irrigation system » *State College of Washington; Bulletin* 212 of the *Washington State Institute of Technology*.
-

Sur la régression polynomiale. De quelques polynômes orthogonaux

par

J. TEGHEM

1. *Introduction et résumé.* Dans une note récente, [7], parue dans ce Bulletin, nous avons considéré, entre autres, le problème de la détermination de polynômes orthogonaux sur un ensemble de valeurs X en progression arithmétique périodiquement lacunaire (k périodes de h valeurs, nombre d'observations $n = kh$). Soit 1 la raison de la progression arithmétique. On peut déduire immédiatement de certains résultats de [7] la forme générale, exprimée en fonction de k et de h , des polynômes orthogonaux de degré ≤ 3 . Cette forme est donnée dans la partie 2 de la présente note (formule (1)); nous y déterminons aussi la forme du polynôme de degré 4 (formule (6)).

La partie 3 est relative au cas plus général où les lacunes de la progression arithmétique sont disposées de façon quelconque. M. HARTLEY, [3], a montré comment on peut, par approximations successives, obtenir le polynôme de régression de y en x pour un ensemble correspondant de points (X, Y) , à partir des polynômes orthogonaux classiques de TCHEBYCHEFF, relatifs à la progression non lacunaire. Pour une raison d'invariance par rapport au degré du polynôme de régression, il peut néanmoins être utile de connaître les polynômes orthogonaux relatifs au schéma réel, lacunaire, des X . On peut évidemment les construire par la méthode algébrique habituelle, c'est-à-dire à l'aide de déterminants formés par les moments en X , ⁽¹⁾, mais on peut aussi les déterminer à partir des polynômes classiques, en se servant des tables qui y sont relatives, [2], [1], [8]. On verra qu'il n'y a lieu d'en extraire les valeurs des polynômes de TCHEBYCHEFF qu'en les seules valeurs lacunaires de X , généralement en petit nombre.

Les problèmes traités dans les parties 2 et 3 sont de natures très différentes. Comme il n'existe pas, en effet, dans le cas général, de nombres tels que k et h , résumant et contenant à eux seuls l'information sur les X ,

(1) Voir, par exemple, [4], pp. 145 et suivantes.

le problème qui s'y pose n'est plus de déterminer la forme des polynômes orthogonaux, mais seulement d'adopter une méthode générale, permettant leur construction aussi rapide que possible dans chaque cas particulier. Nous pensons qu'il peut y avoir intérêt, à ce point de vue, lorsque les lacunes sont en petit nombre, à se servir, comme nous le proposons, des tables de polynômes de TCHEBYCHEFF plutôt qu'à utiliser la méthode algébrique habituelle, basée sur la considération des moments en les X.

2. *Lacunes périodiques.* Nous avons établi, pour $\bar{X} = 0$, ([7], formules (29), (30)), et il en découle immédiatement pour $\bar{X}$ quelconque, que

$$\Sigma(X - \bar{X})^2 = \frac{1}{12} kh(h+1) [k^2(h+1) - 2]$$

et

$$\Sigma(X - \bar{X})^4 = \frac{1}{240} kh(h+1) [3k^4(h+1)^3 - (20k^2 - 8)(h+1)^2 + 8(h+2)];$$

on en déduit, pour les polynômes orthogonaux, si on prend le coefficient de la plus haute puissance égal à l'unité, que

$$(1) \begin{cases} P_1 \equiv x - \bar{X} \quad , \quad P_2 \equiv (x - \bar{X})^2 - \frac{h+1}{12} [k^2(h+1) - 2] \quad , \\ P_3 \equiv (x - \bar{X})^3 - \frac{x - \bar{X}}{20} \cdot \frac{3k^4(h+1)^3 - (20k^2 - 8)(h+1)^2 + 8(h+2)}{k^2(h+1) - 2} \end{cases}$$

(on a, en effet, vu l'orthogonalité, $P_1 \equiv x - \bar{X}$,

$$P_2 \equiv (x - \bar{X})^2 - \frac{\Sigma(X - \bar{X})^2}{n} \text{ et } P_3 \equiv (x - \bar{X})^3 - (x - \bar{X}) \frac{\Sigma(X - \bar{X})^4}{\Sigma(X - \bar{X})^2}.$$

D'une manière générale, on a, en tenant compte de l'orthogonalité des polynômes P_i , ainsi que de la symétrie du schéma des X, si on pose

$$P_i \equiv \sum_{j=0}^i \beta_j^{(i)} (x - \bar{X})^j \quad , \quad \text{avec } \beta_i^{(i)} = 1 \quad ,$$

$$(2) \begin{cases} \beta_j^{(i)} = 0 & (0 \leq j \leq i-1, 2 \nmid i-j), \quad (2), \\ \beta_j^{(i)} = \frac{\varphi_{i,j}}{\varphi_{i,1}} & (0 \leq j \leq i-2, 2 \mid i-j) \quad , \end{cases}$$

où $\varphi_{i,j}$ et $\varphi_{i,1}$ représentent les mineurs de $\Sigma(X - \bar{X})^{i+j}$ et $\Sigma(X - \bar{X})^{2i}$ dans le déterminant symétrique

(2) Les notations $a \mid b$ et $a \nmid b$ signifient respectivement « a est diviseur de b » et « a n'est pas diviseur de b ».

$$\Phi_i (= \varphi_{i+2, i+2}) = |\Sigma (X - \bar{X})^{r+s}| \quad (0 \leq r, s \leq i, 2 \mid i-r, 2 \mid i-s);$$

les déterminants $\varphi_{i,j}$ et $\varphi_{i,i}$ sont d'ordre $\begin{bmatrix} i \\ 2 \end{bmatrix}$ (c'est-à-dire $\frac{i-1}{2}$ ou $\frac{i}{2}$

selon que i est impair ou pair), et leur calcul implique la connaissance des sommes $\Sigma (X - \bar{X})^{2g}$ ($g = 1, \dots, i-1$). Les formules (2) sont vraies encore dans le cas plus étendu de lacunes disposées symétriquement par rapport à la moyenne des X . Contentons-nous cependant de les appliquer ici à la détermination de la forme de P_4 dans le cas de lacunes périodiques.

On a, ([7], formule (14)), et ce, quel que soit $\bar{X}$,

$$(3) \quad \Sigma (X - \bar{X})^6 = \sum_{p=0}^6 \binom{6}{p} \left(-\frac{k(h+1)}{2} \right)^p T_{(k,h), 6-p},$$

où, avec

$$S_{m,1} = \sum_{\mu=1}^m \mu^1,$$

$$(4) \quad T_{(k,h), 6-p} = S_{kh+k-1, 6-p} - (h+1)^{6-p} S_{k-1, 6-p} \quad (p=0, \dots, 6).$$

Comme on sait déjà que

$$T_{(k,h), 0} = kh,$$

ainsi que, ([7], formules (13), (12), (27), (28)),

$$T_{(k,h), 1} = \frac{1}{2} k^2 h (h+1),$$

$$T_{(k,h), 2} = \frac{1}{6} kh (h+1) [2k^2 (h+1) - 1],$$

$$T_{(k,h), 3} = \frac{1}{4} k^2 h (h+1)^2 [k^2 (h+1) - 1],$$

$$T_{(k,h), 4} = \frac{1}{30} kh (h+1) [6k^4 (h+1)^3 - (10k^2 - 1)(h+1)^2 + h + 2],$$

il ne reste en définitive à calculer que $T_{(k,h), 5}$ et $T_{(k,h), 6}$, ce qui peut se faire, grâce à (4), en déterminant $S_{m,5}$ et $S_{m,6}$. On peut utiliser, à cet effet, les deux formules suivantes de M. PIZA, [6],

$$(5) (S_{m,1})^r = 2^{-r+1} \sum_{s=1}^{\infty} \binom{r}{2s-1} S_{m,2r+1-2s} \quad (r = 1, 2, \dots),$$

$$(2m+1) (S_{m,1})^r = 2^{-r+1} \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \binom{r}{2s-2} + \binom{r+1}{2s-1} \right\} S_{m,r-1+2s}$$

$$(r = 1, 3, 5, \dots),$$

chacune avec $r = 3$.

Il vient, après quelques calculs,

$$S_{m,5} = \frac{1}{12} m^2 (m+1)^2 [2m(m+1) - 1]$$

et

$$S_{m,6} = \frac{1}{42} m(m+1)(2m+1) [3m(m+1)(m^2+m-1) + 1],$$

d'où l'on déduit

$$T_{(k,h),5} = \frac{1}{12} k^2 h (h+1)^2 [2k^4 (h+1)^3 - (5k^2-1)(h+1)^2 + h+2]$$

et

$$T_{(k,h),6} = \frac{1}{42} k h (h+1) [6k^6 (h+1)^5 -$$

$$- (21k^4 - 7k^2 + 1)(h+1)^4 + (7k^2 - 1)(h+1)^2 (h+2) - (h+2)],$$

d'où enfin, par (3),

$$\Sigma (X - \bar{X})^6 = \frac{1}{1344} k h (h+1) [3k^6 (h+1)^5 -$$

$$- 2(21k^4 - 28k^2 + 16)(h+1)^4 +$$

$$+ 8(7k^2 - 4)(h+1)^2 (h+2) - 32(h+2)].$$

On a donc

$$P_4 \equiv (x - \bar{X})^4 + \beta_2^{(4)} (x - \bar{X})^2 + \beta_0^{(4)}.$$

avec

$$\frac{3k^6 (h+1)^5 - 2(28k^4 - 49k^2 + 30)(h+1)^4 + (63k^2 - 46)(h+1)^3 + 2(49k^2 - 23)(h+1)^2 - 46(h+1) - 60}{k^4 (h+1)^3 - 2(5k^2 - 3)(h+1)^2 + h+7}$$

$$\beta_2^{(4)} = \frac{1}{14} \cdot$$

et

$$\frac{3k^8 (h+1)^6 + 2k^2 (-45k^4 + 133k^2 - 100)(h+1)^5 + (91k^4 - 340k^2 + 288)(h+1)^4 + 2(133k^4 - 170k^2 + 88)(h+1)^3 + 4(-85k^2 + 16)(h+1)^2 + 8(-25k^2 + 22)(h+1) + 288}{3(h+1)}$$

$$\beta_0^{(4)} = \frac{560}{k^4 (h+1)^3 - 2(5k^2 - 3)(h+1)^2 + h+7}$$

On retrouve, comme il se doit, pour $k = 1$, avec $h = n$, l'expression classique du polynôme de TCHEBYCHEFF de degré 4. ⁽³⁾

On peut déterminer, évidemment, par la même voie, la forme générale de polynômes P_i de degré i plus élevé. La détermination de P_5 , par exemple, nécessiterait le calcul de $\sum (X - \bar{X})^5$; il peut se faire par la recherche supplémentaire de $S_{m,7}$ et $S_{m,8}$, à l'aide de (5) et de la formule suivante, donnée également par M. PIZA, [6],

$$(2m+1)(S_{m,1})^r = 2^{-r+1} \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \binom{r}{2s-3} + \binom{r+1}{2s-2} \right\} S_{m, r-2+2s} \quad (r=2, 4, \dots)$$

(on prendrait $r = 4$).

Remarquons encore que pour $k = 2$, les polynômes P_i , i impair, sont identiques aux polynômes de TCHEBYCHEFF correspondant à $n = 2h + 1$. La seule lacune est, en effet, dans ce cas, la moyenne $\bar{X}$, en laquelle P_i est nul pour i impair, et il en résulte que les équations d'orthogonalité sur l'ensemble lacunaire des X se confondent avec les équations d'orthogonalité sur l'ensemble non lacunaire; or, ce dernier ensemble comprend $(2h + 1)$ éléments. La propriété n'est pas vraie pour i pair. ⁽⁴⁾

3. *Lacunes quelconques.* Soient maintenant des X en progression arithmétique lacunaire, la disposition des lacunes étant quelconque. Désignons les éléments de la progression complète par X_t , ceux de ces éléments qui ne sont pas des lacunes par X_τ , les lacunes par X_θ . Nous écrirons Σ_t , Σ_τ et Σ_θ respectivement pour Σ , Σ et Σ . La moyenne $\bar{X}_\tau$, des X_τ ,
 $X_t \quad X_\tau \quad X_\theta$

est généralement différente de la moyenne $\bar{X}_t$, des X_t . En cas de disposition symétrique des lacunes, on a cependant $\bar{X}_\tau = \bar{X}_t (= \bar{X})$. Soient, comme plus haut, P_i les polynômes orthogonaux sur l'ensemble lacunaire ($\Sigma_\tau P_i P_j = 0$, $i \neq j$), soient ξ_i les polynômes classiques, orthogonaux sur l'ensemble complet des X_t ($\Sigma_t \xi_i \xi_j = 0$, $i \neq j$); le coefficient de

x^i est pris, dans les deux cas, égal à l'unité. Soient encore $\xi'_i = \lambda_i \xi_i$, $P'_i = \lambda_i P_i$, où λ_i est le plus petit entier positif tel que les valeurs $\lambda_i \xi_i(X_t)$ soient toutes entières; les tables concernant les ξ'_i et donnent aussi la valeur de λ_i .

(3) Voir, par exemple, [4], p. 160.

(4) Dans un article récent, M. KIMBALL, [5], traite, à titre d'exemple, par une méthode de calcul de DOOLITTLE, le problème de la détermination des polynômes orthogonaux sur l'ensemble

$X = 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16$;

il s'agit donc d'un schéma périodiquement lacunaire, tel que ceux que nous avons considérés, et ce avec $k = 2$, $h = 5$. On vérifiera facilement que les polynômes P_1 et P_3 correspondants (Φ_2 et $6 \Phi_4$ dans la notation de M. KIMBALL) sont identiques aux polynômes de TCHEBYCHEFF de même degré, relatifs à $n = 11$, mais qu'il n'en est pas ainsi pour P_2 et P_4 ($2 \Phi_3$ et $24 \Phi_5$ dans la notation de M. KIMBALL).

M. HARTLEY se passe de P_i ou P'_i en construisant le polynôme de régression pour un ensemble $(X\tau, Y\tau)$ quelconque, directement à partir des polynômes ξ'_i , c'est-à-dire en déterminant les coefficients a_i dans l'expression

$$\sum_i a_i \xi'_i$$

du polynôme de régression. Il procède par approximations successives, basées sur l'estimation des Y_τ , et arrive assez rapidement, par l'emploi des tables, à un résultat approché très satisfaisant. Les a_i ne sont malheureusement pas invariants par rapport au degré du polynôme de régression et l'on perd de ce fait la principale raison d'être de l'utilisation de polynômes orthogonaux. Il peut donc être utile de déterminer les P_i ou P'_i . Plutôt que de procéder à cette détermination à partir des puissances x^j ou $(x - \bar{X})^j$ ($j = 0, \dots, i$), on peut le faire à partir des ξ'_j ($j = 0, \dots, i$). On a, si l'on pose

$$P'_i = \sum_{j=0}^i \gamma_j^{(i)} \xi'_j, \quad ,$$

$\gamma_0^{(i)} = 1$ et, vu l'orthogonalité,

$$(7) \quad \sum_{\tau} P'_i \xi'_s = 0 \quad (s = 0, \dots, i-1),$$

d'où

$$\gamma_j^{(i)} = \frac{\psi_{i,j}}{\psi_{i,i}} \quad (j = 0, \dots, i),$$

où $\psi_{i,j}$ et $\psi_{i,i}$ représentent les mineurs de $\sum_{\tau} \xi'_i \xi'_j$ et $\sum_{\tau} \xi'^2_i$ dans le déterminant symétrique,

$$\Psi_i (= \psi_{i+1, i+1}) = \left| \sum_{\tau} \xi'_r \xi'_s \right| \quad (r, s = 0, \dots, i).$$

On a donc, en posant $\Sigma_{r,s} = \sum_{\tau} \xi'_r \xi'_s$,

$$(8) \quad P'_i \equiv \frac{1}{\psi_{i,i}} \begin{vmatrix} \Sigma_{0,0} & \Sigma_{0,1} & \cdot & \cdot & \cdot & \Sigma_{0,i-1} & \Sigma_{0,i} \\ \Sigma_{1,0} & \Sigma_{1,1} & \cdot & \cdot & \cdot & \Sigma_{1,i-1} & \Sigma_{1,i} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \Sigma_{i-1,0} & \Sigma_{i-1,1} & \cdot & \cdot & \cdot & \Sigma_{i-1,i-1} & \Sigma_{i-1,i} \\ 1 & \xi'_1 & \cdot & \cdot & \cdot & \xi'_{i-1} & \xi'_i \end{vmatrix};$$

en particulier,

$$P'_1 \equiv \xi'_1 - \frac{\Sigma_{1,0}}{\Sigma_{1,1}} \equiv x - \bar{X}_t - (\bar{X}_\tau - \bar{X}_t) \equiv x - \bar{X}_\tau,$$

comme il est évident a priori, vu la relation $\sum_{\tau} P'_1 P'_0 = 0$, où $P'_0 \equiv 1$.

Chaque fois que les X_θ sont en moins grand nombre que les X_τ — et c'est généralement le cas — il y a intérêt à tenir compte, dans les calculs, des relations

$$(9) \quad \Sigma_{r,s} = - \sum_{\theta} \xi'_r \xi'_s \quad (r \neq s)$$

et

$$(10) \quad \Sigma_{r,r} = \sum_t \xi'^2_{r^2} - \sum_{\theta} \xi'^2_{r^2},$$

qui permettent de ne calculer les produits $\xi'_r \xi'_s$ et $\xi'^2_{r^2}$ qu'en les seules lacunes; les sommes $\sum_t \xi'^2_{r^2}$ ($r > 0$) se trouvent dans la table.

Pour ce qui est des coefficients b_i dans l'expression

$$\sum_i b_i P'_i$$

du polynôme de régression, on déduit de (8) et de la formule

$$b_i = \frac{\sum_{\tau} Y P'_i}{\sum_{\tau} P'^2_i}, \quad (5)$$

vu la relation

$$\sum_{\tau} P'^2_i = \sum_{\tau} P'_i \xi'_i,$$

que

$$b_i = \frac{\Psi_{i, (Y)}}{\Psi_i},$$

où $\Psi_{i, (Y)}$ représente le déterminant que l'on obtient en remplaçant les éléments de la dernière ligne de Ψ_i respectivement par $\sum_{\tau} Y$, $\sum_{\tau} Y \xi'_1$, ..., $\sum_{\tau} Y \xi'_i$. On a

$$\Psi_i = \sum_{j=0}^i \psi_{i,j} \cdot \Sigma_{i,j}$$

et

$$\Psi_{i, (Y)} = \sum_{j=0}^i \psi_{i,j} \cdot \sum_{\tau} Y \xi'_j,$$

de sorte que la connaissance de la valeur des déterminants $\psi_{i,j}$ ($j = 0, \dots, i$), qui ont été calculés pour la construction des P'_i , permet une détermination rapide des b_i . Notons encore que le calcul des $\sum_{\tau} Y \xi'_j$ se simplifie si l'on tient compte de la parité ou de l'imparité des fonctions $\xi'_j(u)$, où $u = x - \bar{X}_t$.

(5) Voir, par exemple, [4], p. 147.

Exemple 1.

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{\tau} : \quad 1 \quad 2 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 9 \\ Y_{\tau} : \quad -1 \quad -0,5 \quad 7,5 \quad 15 \quad 25 \quad 34 \quad 62 \end{array} \right. ; X_{\theta} : 3, 8.$$

On a $\Sigma_{0,0} = 7$ et, d'après les tables, pour $n = 9$ (le nombre des X_{τ}),
 $\Sigma_{1,0} = \Sigma_{0,1} = -(-2 + 3) = -1$, $\Sigma_{1,1} = 60 - (4 + 9) = 47$,
 $\Sigma_{2,0} = \Sigma_{0,2} = -(-8 + 7) = 1$, $\Sigma_{2,1} = \Sigma_{1,2} = -(16 + 21) = -37$,
d'où

$$\psi_{2,0} = \begin{vmatrix} -1 & 1 \\ 47 & -37 \end{vmatrix} = -10, \quad \psi_{2,1} = - \begin{vmatrix} 7 & 1 \\ -1 & -37 \end{vmatrix} = 258,$$

$$\psi_{2,2} = \begin{vmatrix} 7 & -1 \\ -1 & 47 \end{vmatrix} = 328,$$

d'où enfin, vu les formules classiques pour ξ'_2 , ξ'_1 , ξ'_0 , ⁽⁶⁾ et $X_t = 5$,

$$P'_2 \equiv 3 \left[(x - 5)^2 - \frac{20}{3} \right] + \frac{129}{164} (x - 5) - \frac{5}{164} \equiv$$

$$\equiv 3 \left(x^2 - \frac{1597}{164} x + \frac{2790}{164} \right).$$

On a encore

$$P'_1 \equiv x - \frac{34}{7} \quad \text{et} \quad P'_0 \equiv 1.$$

Enfin, $\Sigma_{\tau} Y = 142$ et, d'après les tables, pour $n = 9$, $\Sigma_{\tau} Y \xi'_1 = 339$,

$\Sigma_{\tau} Y \xi'_2 = 580$, $\Sigma_{2,2} = 2772 - (64 + 49) = 2659$, d'où

$$b_2 = \frac{142 \psi_{2,0} + 339 \psi_{2,1} + 580 \psi_{2,2}}{\psi_{2,0} - 37 \psi_{2,1} + 2659 \psi_{2,2}} = \frac{15349}{47922}.$$

$$b_1 = \frac{142 \psi_{1,0} + 339 \psi_{1,1}}{\psi_{2,2}} = \frac{-142 \Sigma_{1,0} + 339 \Sigma_{0,0}}{\psi_{2,2}} = \frac{2515}{328}.$$

$$b_0 = \frac{142}{7};$$

le polynôme de régression est donc

$$\frac{15349}{15974} \left(x^2 - \frac{1597}{164} x + \frac{2790}{164} \right) + \frac{2515}{328} \left(x - \frac{34}{7} \right) + \frac{142}{7}$$

$$\equiv \frac{15349}{15974} x^2 + \dots$$

(6) Voir, par exemple, [4], p. 160.

Dans le cas d'une disposition symétrique des lacunes, on a $\gamma_j^{(1)} = 0$ ($0 \leq j \leq i-1$, $2 \nmid i-j$). En outre, les coefficients $\gamma_j^{(1)}$ ($0 \leq j \leq i-2$, $2 \mid i-j$) se calculent plus simplement que dans le cas général; il suffit, en effet, de ne considérer du système (7) que la partie

$$\sum_{\tau} P'_{\tau} \xi'_s = 0 \quad (0 \leq s \leq i-2, \quad 2 \mid i-s),$$

d'où l'on tire

$$\gamma_j^{(1)} = \frac{\psi_{i,j}^*}{\psi_{i,1}^*} \quad (0 \leq j \leq i-2, \quad 2 \mid i-j),$$

où $\psi_{i,j}^*$ et $\psi_{i,1}^*$ représentent les mineurs de $\sum_{\tau} \xi'_i \xi'_j$ et $\sum_{\tau} \xi'_1{}^2$ dans le déterminant symétrique

$$\Psi_i^* (= \psi_{i+2, i+2}^*) = \left| \sum_{\tau} \xi'_r \xi'_s \right| \quad (0 \leq r, s \leq i, \quad 2 \mid i-r, \quad 2 \mid i-s).$$

Les déterminants $\psi_{i,j}^*$ et $\psi_{i,1}^*$ sont d'ordre $\left\lfloor \frac{i}{2} \right\rfloor$. On a, avec

$$v' = \begin{cases} v & \text{si } i \text{ est pair,} \\ v+1 & \text{si } i \text{ est impair,} \end{cases} \quad (v = 0, 2, 4, \dots),$$

$$P'_i = \frac{1}{\psi_{i,1}^*} \begin{vmatrix} \sum_{o'} \cdot & \sum_{o', 2'} & \cdot & \cdot & \cdot & \sum_{o', i-2} & \sum_{o', 1} \\ \sum_{2'} \cdot & \sum_{2', 2'} & \cdot & \cdot & \cdot & \sum_{2', i-2} & \sum_{2', 1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \sum_{i-2, o'} & \sum_{i-2, 2'} & \cdot & \cdot & \cdot & \sum_{i-2, i-2} & \sum_{i-2, 1} \\ \xi'_{o'} & \xi'_{2'} & \cdot & \cdot & \cdot & \xi'_{i-2} & \xi'_1 \end{vmatrix},$$

et l'on tiendra compte encore de (9) et (10), avec même cette simplification supplémentaire, dans le calcul des $\sum_{\theta}$, que des X_{θ} symétriques par rapport à $\bar{X}$ fournissent la même contribution.

Pour les coefficients b_i , on a

$$b_i = \frac{\Psi_{i, (Y)}^*}{\Psi_{i, 1}^*},$$

avec

$$\Psi_i^* = \sum_{\substack{0 \leq j \leq i \\ 2 \mid i-j}} \psi_{i,j}^* \cdot \sum_{i,j}$$

et

$$\Psi_{i, (Y)}^* = \sum_{\substack{0 \leq j \leq i \\ 2 \mid i-j}} \psi_{i,j}^* \cdot \sum_{\tau} Y \xi'_j.$$

Exemple 2.

$$\begin{cases} X_{\tau} : & 1 & 2 & 4 & 5 & 6 & 8 & 9 \\ Y_{\tau} : & -1 & -0,5 & 7,5 & 15 & 25 & 47 & 62 \end{cases} ; X_{\theta} : 3,7.$$

On a $\psi_{2,2}^* = \Sigma_{0,0} = 7$ et, d'après les tables, pour $n = 9$, $\psi_{2,0}^* = -\Sigma_{2,0} = 2 \left(-\frac{8}{3} \right) = -\frac{16}{3}$, d'où, vu les formules classiques pour ξ'_2 et ξ'_0 , et $\bar{X}_t = 5$,

$$P'_2 \equiv 3 \left[(x - 5)^2 - \frac{20}{3} \right] - \frac{16}{7} \equiv 3 \left(x^2 - 10x + \frac{123}{7} \right).^{(7)}$$

On a encore

$$P'_1 \equiv x - 5 \quad \text{et} \quad P'_0 \equiv 1.$$

Enfin, $\Sigma_{\tau} Y = 155$ et, d'après les tables, pour $n = 9$, $\Sigma_{\tau} Y \xi'_1 = 412$,

$$\Sigma_{\tau} Y \xi'_2 = 1181, \quad \Sigma_{1,1} = 60 - 2.4 = 52, \quad \Sigma_{2,2} = 2772 - 2.64 = 2644,$$

d'où

$$b_2 = \frac{155 \psi_{2,0}^* + 1181 \psi_{2,2}^*}{16 \psi_{2,0}^* + 2644 \psi_{2,2}^*} = \frac{643}{2028}.$$

$$b_1 = \frac{412}{52} = \frac{103}{13}, \quad b_0 = \frac{155}{7};$$

le polynôme de régression est donc

$$\frac{643}{676} \left(x^2 - 10x + \frac{123}{7} \right) + \frac{103}{13} (x - 5) + \frac{155}{7} \equiv \frac{643}{676} x^3 + \dots$$

(7) P'_3 se détermine tout aussi simplement; on a, en effet, $\psi_{3,3}^* = \Sigma_{1,1} = 52$ et, par la table, $\psi_{3,1}^* = \Sigma_{\xi'_3 \xi'_1} = 2.2 \left(-13 \right) = -52$, d'où, vu les formules classiques

$$\begin{aligned} \text{pour } \xi'_3 \text{ et } \xi'_1, \quad P'_3 &\equiv -\frac{5}{6} [(x - 5)^3 - \frac{59}{5} (x - 5)] - (x - 5) \equiv \\ &\equiv -\frac{5}{6} (x^3 - 15x^2 + 62x - 60). \end{aligned}$$

BIBLIOGRAPHIE.

1. ANDERSON, R. L. & HOUSEMAN, E. E. — Tables of Orthogonal Polynomial Values extended to $N = 104$. *Research Bull.* 297, *Agric. Exp. Station, Iowa State College, Ames*, 1942, pp. 595 - 672.
 2. FISHER, R. A. & YATES, F. — Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research. Oliver and Boyd, Edinburgh and London, 3rd ed., 1949.
 3. HARTLEY, H. O. — The Fitting of Polynomials to Equidistant Data with Missing Values. *Biometrika*, vol. 38, 1951, pp. 410 - 413.
 4. KENDALL, M. G. — The Advanced Theory of Statistics. Ch. Griffin, London, vol. II, 3rd ed., 1951.
 5. KIMBALL, B. F. — A Multiple Group Least Squares Problem and the Significance of the Associated Orthogonal Polynomials. *Journal of the American Statistical Association*, vol. 48, 1953, pp. 320 - 335.
 6. PIZÁ, P. A. — Powers of Sums and Sums of Powers. *Mathematics Mag.*, vol. 25, 1950, pp. 137 - 142.
 7. TEGHEM, J. — Ajustement d'une équation parabolique à une série chronologique périodiquement lacunaire. *Ce Bull.*, vol. 20, 1952, pp. 293 - 313.
 8. VANDER REYDEN, D. — Curve Fitting by Orthogonal Polynomials of Least Squares. *Onderstepoort Journal of Veterinary Science and Animal Industry*, vol. 28, 1943, pp. 355 - 404.
-

Au sujet d'un nouveau représentant du genre *Capreolus* en Belgique : le Chevreuil de Sibérie (*Capreolus pygargus* Pall)

par
J. TURBANG

Au cours de l'automne 1946, un chasseur abattait à la lisière du bois de VANCE, un cervidé d'une race inconnue en Belgique.

Le massacre non identifié jusqu'alors avait figuré pour sa rareté et l'aspect exceptionnel de sa ramure à l'exposition de la Chasse à Arlon, en juin 1953, à l'occasion de la Joyeuse Entrée en cette ville de S. M. le Roi Baudouin I^{er}.

Un examen approfondi sur un ensemble de caractères morphologiques suffisants, relatifs à la taille et à la ramure et dont nous parlons ci-dessous, permet d'affirmer qu'il s'agit d'un chevreuil de Sibérie (*Capreolus pygargus* PALL).

D'après G. M. ALLEN (1) et MORRISON-SCOTT (2), le genre *Capreolus* GRAY (Chevreuil) comprend 3 espèces différentes, réparties en Europe et en Asie :

1. *C. capreolus* : Europe et Asie occidentale.
2. *C. pygargus* : Asie centrale et occidentale jusqu'aux Monts Ourals et à la Volga.
C. pygargus PALL : Chevreuil de Sibérie.
C. tianshanicus SAT : Chevreuil des monts célestes.
C. pygargus firghanicus RAS : Chevreuil de Firghana.
3. *C. bedfordi* : Chine et Corée.

Il ressort de ces études faites au Musée Américain des Expéditions asiatiques que les caractères différenciels de ces trois espèces sont de nature morphologique et il semble que les formes orientales doivent être considérées comme des sous-espèces de la forme européenne qui en est le génotype.

Le « Chevreuil de Sibérie » qui nous intéresse ici est considéré comme le représentant d'une race géographique dont l'aire naturelle de dispersion s'étend à la Sibérie, au Turkestan et aux Monts Altaï.

Les caractères morphologiques diffèrent essentiellement de ceux du chevreuil d'Europe, tout d'abord, par une plus grande taille (Fig. 3 à 8); le spécimen abattu près de Vance pesait 70 Kg alors que notre chevreuil indigène atteint habituellement 25-30 Kg. Il est reconnu que l'animal, à la limite orientale de son aire de distribution, atteint les dimensions du daim (*Dama dama* L.). Les oreilles sont plus poilues, le miroir très large. Les bois rugueux sont plus divergents et plus grands (Fig. 1) : c'est un trophée qui peut rivaliser avec les plus belles ramures de nos chevreuils européens. Certains pourraient peut-être le confondre avec le chevreuil du Caucase (*Capreolus capreolus ciscaucasika* DINNET). Suite à l'examen de deux spécimens de cette variété, au Museum Koenig de Bonn, et abattus en 1912 à Psit-Kuban (N-W du Caucase), nous pouvons dire en résumé que le type du Caucase, bien que de taille sensiblement égale à celui de Sibérie, en diffère essentiellement par ses bois plus allongés et plus arqués.

HUET, dans son ouvrage intitulé : « Cervidés, Cervulidés » publié en 1890, donne de son pelage, la description suivante : « En hiver : brun-roux piqué de brun foncé, surtout en dessous du cou et sur le dos : tête rousse; lèvres supérieure brun foncé, dessus du nez brun, menton blanc, gorge et partie antérieure du cou garnies de poils roux mélangés de blancs; poitrine, ventre et pattes roux jaunâtre; miroir blanchâtre ne remontant pas sur la croupe plus haut que la base de la queue et descendant sur le bord des fesses; queue cachée par des poils très longs; oreilles abondamment fournies de poils, au-dehors comme au-dedans, brunâtres en dessus, blancs en dedans. — En été : l'animal est très poilu, mais de couleur café au lait pâle; pattes blanc jaunâtre ainsi que le disque annal et les jambes. »

La mue d'automne s'effectue bien plus hâtivement sous le climat rigoureux des Monts Altaï que dans la plaine turkestanne. Le poil d'hiver long et épais confère une protection réellement efficace contre le froid. Nous avons eu l'occasion d'examiner à la Station fédérale de Recherches cynégétiques de Bonn, deux broquards abattus, l'un à la fin du mois d'août 1941 dans les Monts Sayansk (Sibérie centrale) et l'autre, à peu près à la même époque à Narynsk (Semiretschje-Turkestan). Le premier portait déjà sa robe d'hiver tandis que le poil jaune pâle du second traduisait encore le pelage d'été. Le spécimen tiré en Belgique au début de l'automne 1946 ne montrait aucune trace de mue. La robe d'hiver subsiste jusque fin mai.

Quant aux mœurs de ce chevreuil, il recherche dans son pays d'origine, les régions forestières peu habitées où il peut trouver un couvert naturel protecteur suffisant. Les hardes passent l'hiver en plaine où elles affectionnent les futaies et taillis clairs des fonds de vallées et des bas versants de montagne. En été, par contre, on les rencontre à l'étage sub-alpin, dans les fourrés de peupliers et les recrûs de pins et d'épicéas.

Les battues désordonnées et la déforestation ont limité son aire d'extension surtout aux régions montagneuses.

Le chevreuil de Sibérie est extrêmement craintif et ses sens sont d'une finesse extraordinaire. En hiver, sa robe brun fauve est en parfaite harmonie avec les teintes des herbes sèches et des taillis dépouillés de leur feuillage. En été, le chasseur le confond étrangement avec les taches d'humidité dans les sables loessiques. C'est au lever du jour et à la tombée de la nuit qu'il quitte ses refuges en petits groupes pour aller paître dans les campagnes avoisinantes.

La chute des bois a lieu en novembre-décembre et le refait débute en février. Vers la fin du mois de mai, le broquart fraye c'est-à-dire qu'il se dépouille de son velours, en frottant sa ramure complètement développée sur les troncs, branches et surfaces rugueuses quelconques; le rut commence en août. La chèvre produit normalement deux chevillards.

Le chevreuil de Sibérie semble moins prédisposé aux diverses maladies épidémiques infectieuses ou parasitaires auxquelles nos chevreuils indigènes sont particulièrement prédisposés par suite de nombreuses causes d'affaiblissement. SOWERLY cite cependant un cas d'œstrose des voies respiratoires causé par une mouche appelée *Iermipsylla dorcadia*.

Quant à préciser l'origine du broquart tué à Vance dans le sud de notre Luxembourg belge, la question est plus délicate. Par des renseignements recueillis en Allemagne (*) et en France (**) la présence de cet animal est signalée dans ce premier pays dans le massif montagneux du Taunus où il aurait été importé il y aurait peut-être une vingtaine d'années pour améliorer la qualité du cheptel local. Aucun autre cas d'existence ne nous a été signalé pour l'ouest européen. Il est possible que par des faits de guerre ou autres, ce broquart égaré, ait fui vers l'ouest, par la vallée de la Moselle entre le Hunsrück et l'Eifel et soit parvenu ainsi en Lorraine belge par le Grand-Duché de Luxembourg. Cette explication n'a évidemment qu'une valeur hypothétique. Sa présence a été signalée pendant une quinzaine de jours dans la forêt fangeuse et peu accessible de Vance.

L'animal en question était ou bien un chevreuil de Sibérie typique (*Capreolus pygargus* PALL) ou peut-être déjà un produit de croisement du premier ou second degré avec des individus de race indigène d'Allemagne (*Capreolus capreolus* L.) ce qui est parfaitement possible malgré la différence de taille constatée. Il est regrettable de ne pas avoir songé à interdire le tir de ce spécimen unique, dont l'étude du comportement aurait pu donner lieu à des observations intéressantes.

Pour terminer, nous attirons encore l'attention sur le fait qu'à la base du massacre du chevreuil tiré à Vance, on constate la présence de perles extraordinairement développées d'une longueur de 5 à 8 cm. Ces proliférations osseuses traduisant une grande vigueur de l'animal sont

(*) Je remercie vivement Monsieur le Conservateur VIDRON, chef du service de la chasse à la Direction générale des Eaux et Forêts à Paris — et Monsieur le Professeur Dr MULLER USING de l'Institut de la chasse de l'Université de Goettingen.

réparties à l'intérieur et à la partie postérieure de la ramure. La présence de ces excroissances osseuses sont au même titre que la ramure elle-même, à considérer comme un caractère sexuel secondaire. Leur formation est due pensons-nous à une hyperémie basale d'artères sous-périostées. Ces dernières logées dans les canalicules de Havers, et transportant tous les matériaux ostéogènes — notamment le phosphate tricalcique — impriment, en même temps que la ramure se développe, leurs sillons dans le sens longitudinal des merrains. Or, la formation simultanée de ces ornements que sont les perlures et les cannelures provoque une déviation sinueuse des artérioles qui les irriguent voir même une congestion de leurs tissus. En conséquence, le sang au lieu de parvenir sans entrave jusqu'à l'ultime terminaison des perches en formation, a tendance à s'accumuler à la base de la ramure pour y donner lieu à ces longues perlures qui, en terminologie cynégétique, ne peuvent être assimilées aux pointes.

En guise de conclusion, disons qu'il serait hautement intéressant de s'attacher à l'amélioration de nos races de cervidés — du chevreuil comme du cerf — d'abord par un traitement sélectif sévère, ensuite par l'étude des possibilités d'acclimatation de gibier nouveau dans l'ouest européen: notre faune cynégétique en serait très avantageusement modifiée et la chasse rendue plus attrayante.

Gembloux, le 5 octobre 1953.

BIBLIOGRAPHIE

1. G. M. ALLEN. — Natural History of Central Asia. Vol. XI. The mammals of China and Mongolia, Part. 2. Central Asiatic Expeditions. American Museum of Natural History, New-York, 1940.
2. ELLERMAN and MORRISON-SCOTT. — Checklist of Palearctic and Indian Mammals. British Museum of Natural History, London 1951.
3. L. M. HARRISON. — A survey of British Natural History. — British Mammals Collins, 14, St James's Place, London 1952.

LEGENDE

- Massacre à 6 pointes du *Capreolus pygargus* PALL (n° 1) abattu à Vance en 1946 comparé à celui du génotype européen : *Capreolus capreolus* L. (n° 2) abattu à Toernich (Prov. de Luxembourg) en 1925. Photo J. Turbang.
- Broquart et chèvre (n°s 3 et 4) de l'espèce sibérienne *Capreolus pygargus* PALL, tirés dans les monts Sayansk (Sibérie centrale), le 1.IX.1910.
- Broquart allemand (n° 5) (*Capreolus capreolus* L), *Blucherhof*, Mecklemburg 20.VIII.1918.
- Broquart de Sibérie (n° 6) (*Capreolus pygargus* PALL) Narynsk, Semiretschje (Turkestan russe) 20.VIII.1911.
- Broquart allemand (dito) (n° 7 = n° 5).
- Chevrillard de l'espèce : *C. pygargus* PALL (n° 8) âge de 5 mois. Réserve naturelle de Bonn. Octobre 1905.

Photos aimablement mises à notre disposition par la Station Fédérale des Recherches cynégétiques — Bonn.



Bibliographie *

BONNIER, CH., 1953. Classification et spécificité de l'hôte dans le genre *Rhizobium*. *Comptes rendus du VI^e Congrès International de Microbiologie, Section XVIII*, Rome 1953.

L'auteur pense que la classification des espèces du genre *Rhizobium*, telle qu'elle est établie actuellement, dans le Manuel de Bergey notamment, ne semble pas répondre à la réalité.

**

BONNIER, CH., HELY, F. et MANIL, P., 1953. Symbiose « plante-bactérie » chez les Légumineuses, Influence de la greffe. *Comptes rendus du VI^e Congrès International de Microbiologie, Section XVIII*, Rome 1953.

Les auteurs discutent les résultats obtenus par eux en greffant, sur certaines Légumineuses, d'autres espèces de la même famille. Ils ont ainsi observé dans certains cas, sur les racines du sujet, des nodules formés par des souches de *Rhizobium*, non spécifiques du sujet, mais spécifiques du greffon.

**

J. CASIMIR. Caractérisation de l'acide kojique par l'acide sulfanilique diazoté. *Archives internationales de Physiologie*, 1953, vol. LXI, fasc. 2, p. 249. (Note présentée par P. Manil).

L'acide kojique peut être caractérisé par l'acide sulfanilique diazoté en solution et également sur papier après séparation chromatographique. L'auteur donne les Rf de l'acide kojique pour différents solvants.

**

CULOT, JEAN PH. et MANIL, P., 1953. Dosage microbiologique du phosphore dans les sols argileux. Comparaison avec la méthode d'Egner. *Comptes rendus du VI^e Congrès International de Microbiologie, Section XVIII*, Rome, 1953.

Il n'y a pas de corrélation nette entre les résultats fournis par la méthode d'Egner et ceux fournis par la méthode à l'*Aspergillus*, en ce qui concerne P_2O_5 . Il y a corrélation très lâche en ce qui concerne K_2O . La méthode microbiologique semble donner des résultats plus fidèles.

**

HELY, F. W., BONNIER, CH. and MANIL, P., 1953. Effect of grafting on nodulation of *Trifolium ambiguum*. *Nature*, vol. 171, p. 884, may 16.

Dans les conditions de l'essai mentionné ci-dessus, *Trifolium ambiguum* ne produit aucun nodule. Mais, en greffant sur cette espèce, des tiges de *Trifolium repens*, les auteurs ont obtenu des nodosités sur les racines du sujet. Ceci confirme les résultats obtenus précédemment, avec *Soja hispida*.

* Cette rubrique se rapporte à des travaux, publiés en dehors de ce Bulletin, par des membres du personnel scientifique de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches.

HELY, F. W. and BONNIER, CH., 1953. Influence of soil-aggregating substances on the population of gum-producing bacteria in a loess soil. *Antonie van Leeuwenhoek*, 19, 211 - 223.

Le nombre de bactéries productrices de gommés est en nette augmentation dans le sol traité au moyen de substances aggrégeantes. De plus, aucun signe de toxicité de ces produits n'a pu être observé, vis-à-vis des bactéries du sol.

*

MANIL, P. et BONNIER, CH., 1953. L'inoculation de la Luzerne en Belgique. Résultats de cinq années d'expériences. *Comptes rendus du VI^e Congrès International de Microbiologie, Section XVIII*, Rome, 1953.

Les auteurs relatent les résultats excellents obtenus, dans les diverses régions naturelles belges, en Ardenne et Condroz notamment, par l'inoculation, avant le semis, des graines de Luzerne. Les observations portent sur de très nombreuses parcelles, semées au cours de ces cinq dernières années.

*

Publications de l'Institut National pour l'étude Agronomique du Congo Belge (I.N.E.A.C.) — Collection in-4°, fasc. 1, 72 pp., 1 tabl. et 15 planches hors textes.

LOUIS, J. et FOUARGE, J., 1953. *Essences forestières et bois du Congo*, fasc. 1, Introduction, 72 pp., 1 tabl. et 15 planches hors texte.

La disparition prématurée de J. LOUIS a malheureusement interrompu la publication des « Essences forestières et Bois du Congo ». L'introduction à cette série, ne comporte que quelques notes seulement de la main du regretté Professeur quant aux forêts de notre Colonie et aux problèmes qu'elles soulèvent.

Les questions relatives au bois lui-même ont reçu, par contre, un développement plus complet. L'ouvrage se compose à ce sujet de deux parties. La première s'attache à l'étude des principales propriétés des bois et comporte notamment, un glossaire abondamment illustré des termes utilisés pour leur description anatomique, ainsi qu'un exposé détaillé de la méthode suivie pour les essais physiques et mécaniques. La seconde partie du travail constitue une analyse des caractéristiques exigées par chacun des principaux secteurs d'utilisation du matériau bois.

*

FOUARGE, J., GERARD, G. et SACRE, E., 1953. *Bois du Congo*. Ibid., 124 pp., 1 tabl. et 41 planches hors texte.

Cet ouvrage comporte les monographies technologiques de 41 espèces ligneuses de la flore congolaise. Chacun de ces bois est étudié sous le rapport de ses appellations commerciales, de ses caractéristiques anatomiques (macroscopiques et microscopiques), de ses propriétés physiques et mécaniques, de son comportement à l'usinage, de sa résistance aux organismes destructeurs (insectes, champignons, voire termites pour certains d'entre eux), et de ses perspectives d'utilisation en fonction des emplois auxquels les destinent les caractères de leur bois.

Livres reçus

Paul LERAILLEZ. — *La conservation industrielle des fruits*. (préface de G. Ansieau).
Un volume $13,5 \times 19,5$ de 348 pages avec 97 figures, 1952. J. B. Baillière et Fils,
Editeurs, Paris.

Un ouvrage très complet et bien documenté sur un sujet vaste et important.

L'auteur, à la fois homme de laboratoire et praticien averti, passe en revue dans un premier chapitre la production fruitière en France et dans le monde. Des données statistiques précises accompagnées de graphiques clairs font ressortir l'importance économique et la variété de cette production.

Le second chapitre a trait à la composition chimique des végétaux; l'auteur y fait une synthèse des connaissances chimiques, physico-chimiques et biochimiques qui sont à la base des procédés industriels de conservation des fruits.

L'étude botanique succincte des fruits et le processus de maturation font l'objet du troisième chapitre. Des données chiffrées éclairent le lecteur sur les transformations si importantes qui arrivent au cours de la maturation des divers fruits.

Les autres chapitres (4 à 10) traitent de la conservation elle-même. C'est un exposé dont la rigueur scientifique ne le cède en rien à la préoccupation constante de fournir le maximum de données pratiques.

L'ouvrage est fort bien illustré de nombreux clichés, croquis et graphiques.

Ce livre est un guide précieux pour l'industriel et l'ingénieur de fabrication. Il sera lu avec profit par l'étudiant et tous ceux que la question intéresse.

R. C.

*
**

Dr med. J. HILLER et Dr med. A. JACOB. — *Die Radio-Isotope*. 1952. Urban & Schwarzenberg, Munich et Berlin.

Les auteurs, Docteurs en Médecine, sont très au courant des techniques physiques les plus modernes. Outre les rayonnements classiques, ils manient journellement le béta-tron et les radio-isotopes. C'est dire l'importance de ce livre récent consacré aux aspects physiques des isotopes aux méthodes de production et mesure de leur rayonnement, aux fondements de leur utilisation en biochimie, en physiologie et en thérapie humaine. Les auteurs ont été particulièrement bien inspirés dans leur chapitre d'application à la biochimie en insistant sur les modèles permettant de faire le raccord entre les activités physiques enregistrées et le processus biochimique étudié. Dans le chapitre d'application à la thérapie, sont bien venus les points suivants : 1° bases biologiques de l'effet des radiations ionisantes; 2° l'estimation des doses-tissu; 3° la question de protection.

L'utilisation des isotopes dans les recherches portant sur le métabolisme et l'application thérapeutique est développée en un long chapitre pour les corps suivants :

H^3 , C^{11} et C^{14} , P^{32} , S^{35} , Na^{22} , Na^{24} , K^{42} , Ca^{45} et Sr^{89} , I^{131}

ainsi que les métaux lourd radioactifs

Fe^{49} , Fe^{55} , Co^{60} , Zn^{65} , et Cu^{64} .

Nous rappellons que Ch. Pecher de la Faculté de Médecine de l'Université de Bruxelles, trop tôt disparu, hélas, a été l'initiateur de l'utilisation de radiostrontium dans l'étude du métabolisme osseux et la thérapeutique de certaines tumeurs osseuses.

Les radiobiologistes liront avec intérêt la partie consacrée à l'autoradiographie, technique qui passe du stade qualitatif au stade quantitatif. Hiller et Jakob citent la contribution originale de Pecher à cette technique.

Ce chapitre sera aussi très utile aux chercheurs utilisant les radioisotopes dans les domaines botanique, zoologique et agronomique.

Le livre contient plus de mille références bibliographiques témoignant ainsi de ce que l'étude en surface ne le cède en rien aux fouilles en profondeur.

L'édition est excellente : la reproduction des photographies et graphiques est parfaite.

L. M.

*
**

André LEROY. — *Les Plantations en alignements, urbaines et routières*. Un vol. 13 × 20, de 350 p. avec 156 fig. Paris. (J. B. Baillière, 1953).

André Leroy, ingénieur divisionnaire des Parcs et Jardins de la ville de Paris, est particulièrement bien placé pour traiter un tel sujet.

Il fait ressortir l'utilité des plantations en alignement :

- du point de vue esthétique, elles sont un élément essentiel de la décoration des routes de campagne et des voies urbaines, en masquant la médiocrité d'immeubles hétéroclites, etc;
- dans leur rapport avec l'hygiène publique, elles sont un agent puissant de l'assainissement de l'atmosphère polluée des villes;
- elles contribuent, dans de nombreux cas, à l'assèchement et à la consolidation des chaussées;
- elles constituent un facteur de sécurité routière, sauf si les arbres sont plantés trop près de la route; c'est pourquoi, les travaux d'élargissement doivent prévoir le recul des arbres sur le trottoir ou l'abattage, s'il est impossible de faire autrement.

Ensuite, André Leroy considère les divers types de voies plantées, les dispositions de plantations. Il fait une étude approfondie de la morphologie, de l'anatomie et de la physiologie de l'arbre, de la composition physique et chimique du sol, des exigences des arbres lors de l'exécution de la plantation.

Il insiste spécialement sur la transplantation, les travaux saisonniers (élagage), les maladies cryptogamiques et les insectes parasitaires.

Enfin, il termine son livre par un choix d'arbres feuillus et résineux pour les plantations routières et urbaines.

En résumé, c'est un livre très complet qui rendra de grands services à ceux qui s'occupent de la décoration des jardins, des allées et des parcs.

K. R.

*
**

R. BOSSARD. — *Cultures florales*. Un vol. 16 × 24, 124 fig., 416 p. Paris (J. B. Baillière, 1953).

Le livre « Cultures Florales », du distingué professeur à l'Ecole Nationale d'Horticulture de Versailles, mérite à plus d'un point de vue notre attention.

Systématiquement, il étudie les exigences de climat et de sol, des plantes cultivées. Il considère ensuite chaque culture d'une façon rationnelle; pour lui, la plante vit dans un milieu et exige qu'un certain nombre de conditions de celui-ci soient remplies

pour être cultivée convenablement. Il dépouille les procédés classiques de culture de ce qu'ils ont de périmé, tout en y ajoutant ce que les expériences et les méthodes relativement récentes de la science nous ont apporté : utilisation du photopériodisme, des substances de croissance, fertilisation du sol, aquiculture, nouveaux moyens de lutte contre les maladies et les insectes, climatisation des serres, etc.

L'auteur ne néglige pas non plus le point de vue économique et cite, dans l'introduction, l'étude d'un plan de culture. Il met particulièrement l'accent sur l'évolution de la floriculture vers une industrialisation.

Après avoir exposé la multiplication, les techniques culturales et les traitements parasitaires, l'auteur traite des cultures spéciales : consacrées aux plantes annuelles, bisannuelles, bulbeuses rustiques, vivaces, molles, grasses et aquatiques.

Enfin, ce livre vient en son temps et sera favorablement accueilli par tous, étudiants, professionnels et amateurs.

K. R.

Table des Matières du Tome XXI, 1953

N^{os} 1-2.

BERNARD, J. — Etudes sur les Rongeurs. — II. - Note sur la répartition écologique de <i>Microtus arvalis</i> P. et <i>Microtus agrestis</i> L. en Ardennes, en Famenne et dans la zone limoneuse	3
BONNIER, Ch. et HELY, F. W. — Influence de certaines résines synthétiques, améliorant la structure du sol, sur la population fongique d'un sol	14
DE MUNTER, P. — Relations entre protéines et matières grasses du lait. Etude statistiques	29
DERENNE, P. — Effets morphologiques, physiologiques et cytologiques dus à l'action de l'isopropylphénylcarbamate sur les genres <i>Allium</i> , <i>Vicia</i> et <i>Hordeum</i>	37
HENNAUX, L., HOLVOET, J., LECOMTE, R. et HENIUS, J. M. — Les agents modificateurs de la fonction thyroïdienne et l'engraissement des animaux domestiques	58
LECRENIER, A., CORIN, C., DERMINE, E., LIARD, O., TRZCINSKI, T. et GOVAERTS, J. — Utilisation du radiophosphore ³² / ₁₅ P pour l'étude de la dispersion des solutions salines dans le sol	89
MANIL, G. — Quelques observations et réflexions sur la biodynamique des sols en conditions équatoriales	113
NOEZ, P. — Détermination polarographique de la solubilité du sulfate de plomb et de l'arséniate de plomb dans l'eau	156
VANDERWALLE, R. — Observations et recherches effectuées à la Station de Phytopathologie de l'Etat, pendant l'année 1952	160
DEMORTIER, G. — Observations météorologiques de l'année 1952	173

N^{os} 3-4.

BERNARD, J. — Etude sur les Nématodes phytophages. IV. Quelques dégâts nouveaux ou peu connus en Belgique	3
HUYGENS, R. et CASIMIR, J. — Séparation chromatographique sur papier du saccharose, du glucose, du fructose et du sorbitol	8
LECOMTE, R. et SEILLEUR, P. — Extraction des Carotènes en vue de leur détermination	14
LECRENIER, A., DERMINE, E. et TRZINSKI, T. — Contribution à l'étude de la nutrition du Pommier par un essai en vases de végétation	26
MANIL, G., COLLIN, E., EVRARD, R. et GRUBER, R. — Les sols forestiers de l'Ardenne. Le plateau de Saint-Hubert-Nassogne (Première étude)	42
Etude biométrique, par MARTIN, L.	69
MARTENS, Pierre H. — Influence de l'augmentation linéaire de la température sur les variations de masse des oxalates alcalins	131
SINE, L. — Note sur le calcul des pertes de charge dans les conduites à arroseurs multiples (irrigation par aspersion)	137
TEGHEM, J. — Sur la régression polynomiale. De quelques polynômes orthogonaux	160
TURBANG, J. — Au sujet d'un nouveau représentant du genre « <i>Capreolus</i> » en Belgique : le Chevreuil de Sibérie (<i>Capreolus pigargus</i> Pall)	171
Bibliographie	176
Livres reçus	178

Encyclopédie Agronomique et Vétérinaire

MANUEL DE L'AMELIORATION DES PLANTES

par V. LATHOUWERS

Docteur ès Sciences. Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat à Gembloux.

Tome I : L'Amélioration générale

En réimpression

Tome II : L'Amélioration du Froment, 580 pp., 66 fig.

150,00

LE CHENE PEDONCULE ET LE CHENE ROUVRE

Leur culture en Belgique

par A. POSKIN

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. 283 pp., 54 fig., 1 carte en couleurs,

br., 65,00

PHYTOTECHNIE DE L'HEVEA — (HEVEA BRASILIENSIS)

Botanique — Amélioration — Culture et Exploitation

par M. FERRAND

Ingénieur Agronome (A. I. Gx), Chef de la Division de l'Hevea de l'INELC, Directeur du Centre de Recherches de l'Inst. de Rech. pour les Huiles de Palme et Oléagineux de Paris.

1 vol. 432 pp., 67 fig., 2 hors-textes

110,00

ELEMENTS DE MICROBIOLOGIE GENERALE ET AGRICOLE

par G. VERPLANCKE

Chargé de cours à l'Université de Gand et à l'Institut agronomique de Gand.

1 vol. in-8°, 328 pp., 105 fig.

br. 45,00

LES BOVINS

par J. LAHAYE et J. MARCQ

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem. Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

Tome I : La Connaissance du Bétail, 1 vol. in-8°, 196 pp., 166 fig.

En réimpr.

Tome II : Vol. 1. Ethnographie. Hygiène. Reproduction.

En réimpr.

Vol. 2. Alimentation, 1 vol. in-8°, 644 pp., 20 fig. En réimpr.

TRAITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

par F. LIEGEOIS

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. XXVI - 926 pp., 3^e édition, 1949.

520,00

LA FERTILISATION DU SOL ET LES ENGRAIS

par R. MEURICE

Docteur en Sciences,

Directeur de la Station de Chimie et de Physique Agricoles de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8° ill., 280 pp.

60,00

TRAITE D'ECONOMIE RURALE

par A. DELOS

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

Tome I : La Terre, 1 vol. in-8°, 280 pp., 25 fig.,

br. 50,00

Tome II : Le Capital d'exploitation, 1 vol. in-8°, 372 pp.,

Epuisé

PRECIS DE DROIT VETERINAIRE

par F. LIEGEOIS

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. in-8°, 332 pp.,

br. 60,00

TRAITE COMPLET D'AVICULTURE

par J. LAHAYE, J. MARCQ et E. CORDIEZ

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem. *Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, 660 pp., 219 fig., 9 hors-textes en quadrichromie, br. 375,00

LE CHEVAL

par J. MARCQ et J. LAHAYE

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux. *Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

Tome I: Extérieur du Cheval, 304 pp., 193 fig. br. 175,00

Tome II: Zootechnie spéciale. Alimentation. Hygiène. Amélioration.
En réimpr.

LA CANNE A SUCRE AUX ANTILLES FRANÇAISES

par J. GUILLAUME

Ingénieur, Chef de Fabrication aux Antilles.

1 vol. in-8°, IX-215 pp., fig.

br. 56,00

ELEMENTS DE PATHOLOGIE VEGETALE

appliquée à la Phytotechnie

par Em. MARCHAL

Professeur émérite à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

P. MANIL et R. VANDERWALLE

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux. *Chargé de cours à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, XXIV-540 pp., 205 fig.

br. 290,00

ELEMENTS DE PHYSIOLOGIE VEGETALE

Les bases scientifiques de la Phytotechnie

par Em. MARCHAL

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8°, XVI - 344 pp., 131 fig.

br. 225,00

TRAITE DE SYLVICULTURE

par A. POSKIN

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8°, 532 pp., 166 fig.

br. 260,00

A TRAVERS LES FORETS DE PINSAPPO D'ANDALOUSIE

Etude de Dendrologie, de Sylviculture et d'Entomologie forestière.

par A. BARBEY

Expert forestier, Docteur ès-Sciences.

1 vol. in-8°, 110 pp., 41 pl.,

br. 40,00
